



TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UDARA
MENGUNAKAN METODE PENGUAPAN AIR DAN
KONTROL LOGIKA FUZZY**

Moh. Mirza Ferizki
NRP 2212 100 100

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Suwito, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN OF AIR CONDITIONING SYSTEM USING
EVAPORATIVE COOLING METHOD AND FUZZY
LOGIC CONTROL**

Moh. Mirza Ferizki
NRP 2212 100 100

Supervisors
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Suwito, S.T. M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Pendingin Udara Menggunakan Metode Penguapan Air dan Kontrol Logika Fuzzy”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Moh. Mirza Ferizki
NRP. 2212100100

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UDARA MENGUNAKAN METODE PENGUAPAN AIR DAN KONTROL LOGIKA FUZZY

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

LEMBAR PENGESAHAN

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
NIP. 196904261994031003

Dosen Pembimbing II,



Sawito, S.T., M.T.
NIP. 19810152005011004



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UDARA MENGUNAKAN METODE PENGUAPAN AIR DAN KONTROL LOGIKA FUZZY

Moh. Mirza Ferizki
2212 100 100

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Suwito, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sistem pendingin udara ruangan merupakan salah satu teknologi yang kerap digunakan untuk menghasilkan lingkungan udara yang lebih nyaman bagi manusia. Sistem pendingin udara pada umumnya menggunakan metode *mechanical vapor compression* (MVC), namun memiliki kebutuhan daya yang cukup tinggi dan menggunakan bahan *refrigerant* yang dapat merusak lingkungan.

Evaporative cooling (EC) dengan *ultrasonic humidifier* mempunyai kelebihan dalam efisiensi konsumsi daya yang lebih rendah dan ramah lingkungan untuk menjadi sebuah sistem pendingin udara alternatif. Sistem pendingin udara metode penguapan air komersil untuk konsumen rumah tangga yang tersedia saat ini tidak menggunakan sensor kelembaban sebagai masukan untuk sistem kontrol *closed-loop* untuk menanggapi perubahan kondisi pada udara sekitar. Kontrol logika fuzzy yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler Atmel Atmega328P digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembaban relatif ruangan.

Hasil dari pengujian yang dilakukan pada ruangan tertutup sebesar 3,3 m x 3,6 m didapatkan nilai kesalahan masing-masing untuk suhu dan RH ruangan sebesar 1,46 °C dan 2,6 % dan membutuhkan waktu 54 menit untuk *set point* sebesar 28 °C. Sistem yang dirancang telah mampu untuk mengontrol suhu udara ruangan dengan menggunakan pendingin udara metode penguapan air dan kontrol logika fuzzy. Penggunaan unit *humidifier* yang mempunyai kapasitas kerja yang lebih besar dapat meningkatkan kemampuan sistem pendingin penguapan air.

Kata Kunci : *Evaporative Cooling*, Kontrol Logika Fuzzy, Sistem Pendingin Udara

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DESIGN OF AIR CONDITIONING SYSTEM USING EVAPORATIVE COOLING METHOD AND FUZZY LOGIC CONTROL

Moh. Mirza Ferizki
2212 100 100

Supervisor I : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Supervisor II : Suwito, S.T., M.T.

ABSTRACT

Air conditioning system is a ubiquitous technology that is used to make comfortable living space for human. Mechanical vapor compression (MVC) system is the most abundant method used in air conditioning system, but it has some serious drawbacks. It is not energy efficient and uses harmful substance for environment as its refrigerant.

Evaporative cooling (EC) is an alternative cooling method that is energy efficient and eco-friendly. Commercially available EC system does not use any control and feedback in its mechanism to response changing environment condition. Therefore, fuzzy control logic implemented with Atmel Atmega328P microcontroller is used to control room temperature and relative humidity.

System was tested in a closed room with size of 3,3 m x 3,6 m and yielded error value of 1,4 °C and 2,6 % in room temperature and relative humidity respectively and took 54 minutes to reach set point value of 28 °C. System was able to control room temperature and relative humidity using evaporative cooling and fuzzy logic control. Usage of higher throughput ultrasonic humidifier is advised to increase system performance.

Keywords : Cooling System, Evaporative Cooling, Fuzzy Logic Control

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT serta Nabi Muhammad SAW, keluarga, dan para sahabat. Karena atas rahmat dan karunia – Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul :

“RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UDARA METODE PENGUAPAN AIR DAN KONTROL LOGIKA FUZZY ”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak segala kendala dapat teratasi. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Bapak Ardyono Priyadi S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
3. Bapak Dr. Muhammad Rivai S.T., M.T. dan Bapak Suwito S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Tasripan M.T., Dr. Ir. Hendra Kusuma M.Eng., Ir. Harris Pirngadi M.T. dan Astria Nur Irfansyah S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen penguji atas segala arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman penulis dengan semangat dan bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
PERNYATAAN KEASLIAN	V
LEMBAR PENGESAHAN	VII
ABSTRAK	IX
ABSTRACT	XI
KATA PENGANTAR.....	XIII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR GAMBAR.....	XVII
DAFTAR TABEL	XIX
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	2
1.5 METODOLOGI.....	2
1.5.1 <i>Studi Literatur</i>	3
1.5.2 <i>Perancangan Perangkat Keras</i>	3
1.5.3 <i>Perancangan Perangkat Lunak</i>	3
1.5.4 <i>Pengujian dan Optimasi Sistem</i>	3
1.5.5 <i>Penarikan Kesimpulan</i>	3
1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN	3
1.7 RELEVANSI	4
BAB 2 TEORI PENUNJANG	5
2.1 PSIKROMETRIK.....	5
2.1.1 <i>Kelembaban Udara</i>	5
2.1.2 <i>Grafik Psikrometrik</i>	6
2.2 PENDINGIN UDARA METODE PENGUAPAN AIR	7
2.3 PENGUAP AIR ULTRASONIK	12
2.4 KONTROL LOGIKA FUZZY	13
2.5 MOSFET	16
2.6 SWITCHING MODE POWER SUPPLY	18
2.6.1 <i>Input Rectifier</i>	18
2.6.2 <i>Inverter</i>	19
2.6.3 <i>Output Transformer</i>	19
2.6.4 <i>Output Rectifier</i>	19
2.6.5 <i>Inverter Controller</i>	20
2.7 DC-DC BUCK CONVERTER.....	20

2.8	ATMEL ATMEGA328P.....	21
2.8.1	(Pulse Width Modulation) PWM.....	22
2.8.2	Protokol Komunikasi USART	22
2.8.3	Protokol Komunikasi I2C	23
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM.....		25
3.1	DESAIN SISTEM KESELURUHAN.....	25
3.1.1	Desain Fisik Sistem.....	27
3.1.2	Desain Catu Daya Sistem	28
3.2	SENSOR.....	29
3.2.1	Texas Instrument HDC1080	29
3.2.2	HC-SR04	30
3.3	KONTROLER LOGIKA FUZZY	31
3.3.1	Himpunan Masukan Fuzzy.....	32
3.3.2	Himpunan Keluaran Fuzzy	33
3.3.3	Fuzzy Inference System (FIS).....	35
3.3.4	Rule Table	35
3.4	AKTUATOR	36
3.4.1	Ultrasonic Humidifier.....	36
3.4.2	ebmpapst DV6224.....	37
3.4.3	SLC-3	38
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS		41
4.1	REALISASI DESAIN SISTEM.....	41
4.2	PENGUJIAN DAN KALIBRASI SENSOR	42
4.2.1	Texas Instrument HDC1080	42
4.2.2	HC-SR04	44
4.3	PENGUJIAN AKTUATOR	45
4.3.1	Pengujian Karakteristik Kipas Ebmpapst DV6224.....	45
4.3.2	Pengujian Karakteristik Ultrasonic Humidifier.....	47
4.4	PENGUJIAN SISTEM PENDINGIN UDARA.....	47
BAB 5 PENUTUP		55
5.1	KESIMPULAN	55
5.2	SARAN	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN		59
BIOGRAFI PENULIS.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik psikrometrik	6
Gambar 2.2 Klasifikasi tipe EC	9
Gambar 2.3 Ilustrasi DEC	9
Gambar 2.4 Ilustrasi IEC	10
Gambar 2.5 Kurva psikrometrik teoritis	11
Gambar 2.6 Kurva psikrometrik terhadap temperatur air	11
Gambar 2.7 Penguap air ultrasonik	12
Gambar 2.8 Blok diagram kontrol logika fuzzy	13
Gambar 2.9 Fungsi himpunan fuzzy.....	14
Gambar 2.10 <i>Rule table</i> kontrol logika fuzzy.....	14
Gambar 2.11 Sistem inferensi Mamdani	15
Gambar 2.12 Defuzzifikasi metode centroid	16
Gambar 2.13 N-channel MOSFET	17
Gambar 2.14 Struktur MOSFET	17
Gambar 2.15 Blok diagram SMPS	18
Gambar 2.16 Rangkaian penyearah masukan full-bridge.....	19
Gambar 2.17 Rangkaian penyearah keluaran	19
Gambar 2.18 Rangkaian buck converter	20
Gambar 2.19 Diagram blok Atmel Atmega328P-PU	21
Gambar 2.20 <i>Pinout</i> Atmel Atmega328P-PU.....	21
Gambar 2.21 Modulasi PWM.....	22
Gambar 2.22 Koneksi protokol USART	23
Gambar 2.23 <i>Timing diagram</i> USART	23
Gambar 2.24 <i>Timing diagram</i> I2C	24
Gambar 3.1 Blok diagram sistem	25
Gambar 3.2 Blok diagram perangkat keras sistem	25
Gambar 3.3 Alur kerja sistem.....	26
Gambar 3.4 Tampak depan.....	27
Gambar 3.5 Tampak samping tanpa kotak	27
Gambar 3.6 Tampak belakang tanpa kotak	28
Gambar 3.7 Desain catu daya sistem	28
Gambar 3.8 Skematik Texas Instrument HDC1080	29
Gambar 3.9 Skematik modul HC-SR04	30
Gambar 3.10 Metode pengukuran jarak <i>time of arrival</i>	31
Gambar 3.11 Blok diagram kontrol sistem.....	32
Gambar 3.12 Blok diagram kontrol logika fuzzy	32
Gambar 3.13 Grafik fungsi keanggotaan masukan nilai suhu	33

Gambar 3.14	Grafik fungsi keanggotaan masukan nilai RH.....	33
Gambar 3.15	Grafik fungsi keanggotaan keluaran <i>duty cycle</i> PWM ...	34
Gambar 3.16	Grafik fungsi keanggotaan keluaran tingkat <i>humidifier</i> ..	34
Gambar 3.17	Rangkaian <i>ultrasonic humidifier</i>	36
Gambar 3.18	Rangkaian <i>driver ultrasonic humidifier</i>	36
Gambar 3.19	<i>Driver</i> motor BLDC	37
Gambar 3.20	Rangkaian <i>driver</i> DV6224.....	38
Gambar 3.21	Diagram katup air elektrik.....	38
Gambar 3.22	Rangkaian <i>driver</i> SLC-3.....	39
Gambar 4.1	Tampak depan sistem	41
Gambar 4.2	Tampak belakang sistem	41
Gambar 4.3	Grafik pengujian dan kalibrasi sensor kelembaban relatif	42
Gambar 4.4	Grafik pengujian dan kalibrasi sensor suhu	43
Gambar 4.5	Pengujian HC-SR04	44
Gambar 4.6	Grafik pengujian dan kalibrasi HC-SR04.....	45
Gambar 4.7	Grafik pengujian kecepatan kipas <i>duty cycle</i> PWM	46
Gambar 4.8	Grafik pengujian tingkat aktivitas <i>ultrasonic humidifier</i> ..	47
Gambar 4.9	Suhu Ruangan pada set point 25 °C.....	48
Gambar 4.10	Suhu Ruangan pada set point 25 °C.....	49
Gambar 4.11	Suhu ruangan pada set point 26 °C.....	49
Gambar 4.12	RH ruangan pada set point 26 °C.....	50
Gambar 4.13	Suhu ruangan pada set point 27 °C.....	50
Gambar 4.14	RH ruangan pada set point 27 °C.....	51
Gambar 4.15	Suhu ruangan pada set point 28 °C.....	51
Gambar 4.16	RH ruangan pada set point 28 °C.....	52
Gambar 4.17	Suhu ruangan pada suhu awal 30 °C.....	52
Gambar 4.18	RH ruangan pada suhu awal 30 °C.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Rule table</i> keluaran himpunan duty cycle PWM kipas.....	35
Tabel 3.2 <i>Rule table</i> keluaran himpunan keluaran tingkat humidifier..	35
Tabel 4.1 Nilai pengujian kelembaban relatif.....	42
Tabel 4.2 Nilai pengujian suhu.....	43
Tabel 4.3 Nilai pengujian jarak	44
Tabel 4.4 Nilai pengujian kecepatan angin kipas	46
Tabel 4.5 Tabel pengujian suhu ruangan kinerja sistem.....	48
Tabel 4.6 Tabel pengujian RH ruangan kinerja sistem.....	48

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan daya sedunia telah meningkat secara tajam untuk beberapa dekade ini yang telah mengakibatkan keprihatinan terhadap habisnya sumber daya alam dan perusakan lingkungan. Kebutuhan energi untuk pendinginan diestimasi sebesar 40 hingga 50 % dari konsumsi daya total [1]. Penggunaan sistem pendingin ruangan dengan metode MVC yang meluas menyebabkan penggunaan konsumsi daya yang besar pada aplikasi pendinginan udara. Sistem pendinginan udara pada telah menjadi sesuatu yang penting dalam kehidupan manusia untuk tingkat kenyamanan di dalam ruangan. Oleh karena itu, meningkatkan efisiensi teknologi pendinginan sangat penting untuk didapatkan metode dengan kemampuan yang tinggi dan berdaya rendah. Metode MVC dominan secara komersil, meskipun penggunaan daya yang tinggi dan kemampuan yang rendah pada tempat dengan suhu yang tinggi seperti di negara timur tengah. Metode MVC menggunakan konsep kompresi dan perubahan fasa bahan pendingin dengan menggunakan kompresor yang merupakan salah satu komponen penyumbang terbesar dalam besarnya daya yang diperlukan. Penghematan secara ekonomis tidak menjadi satu-satunya alasan pendorong untuk menggunakan metode alternatif, tetapi juga pengurangan polusi lingkungan dan pemborosan sumber daya. Metode MVC pada umumnya menggunakan bahan *refrigerant* yang tidak ramah lingkungan.

Metode pendingin ruangan penguapan air adalah alternatif dengan proses perpindahan massa dan energi panas yang menggunakan penguapan air sebagai media transfer energi. Metode ini bekerja dengan menggunakan nilai entalpi uap yang besar yang dimiliki oleh air, yaitu energi yang dibutuhkan agar air berubah dari fase cair menjadi fase gas atau penguapan. Kemampuan pendingin metode penguapan air meningkat ketika suhu udara yang naik dan nilai kelembaban relatif menurun, namun kelemahannya adalah sangat bergantung pada suhu udara *ambient* karena perbedaan suhu udara kering dan suhu udara basah adalah prinsip kerja metode ini. Penelitian untuk meningkatkan kemampuan EC telah banyak dilakukan untuk mengetahui efek dari kecepatan dan suhu udara, kecepatan dan suhu uap air, material pemindah panas, dan geometri dari sistem. Metode penguapan air adalah

teknologi yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan-bahan berbahaya sebagai bahan pendinginnya, karena metode ini menggunakan air sebagai media untuk mentransfer energi panas [2].

Sistem pendingin udara metode penguapan air komersil untuk rumah tangga yang tersedia saat ini tidak memiliki sistem kontrol cerdas untuk menanggapi perubahan perubahan kondisi udara yang terjadi pada ruangan. Pengaturan nilai kelembaban relatif dan kontrol *closed-loop* diperlukan untuk dicapai suhu udara yang dikehendaki. Kontrol logika fuzzy digunakan karena mampu mengontrol sistem yang memiliki masukan dan keluaran yang berjumlah lebih dari satu dengan menggunakan tabel peraturan linguistik yang mudah dimengerti oleh manusia yang dapat sewaktu-waktu diubah parameternya untuk mendapatkan hasil yang optimal.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menghasilkan uap air alternatif pada pendingin udara metode penguapan air?
2. Bagaimana cara mengendalikan suhu udara dan nilai kelembaban relatif udara dengan sistem pendingin udara metode penguapan air?

1.3 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.:

1. Desain pendingin udara metode penguapan air dengan menggunakan *ultrasonic evaporator*.
2. Desain sistem pengaturan pendingin udara metode penguapan air dengan kontrol logika fuzzy.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada ruangan dengan sirkulasi udara tertutup yang akan digunakan maksimal sebesar 5m x 5m.

1.5 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini terbagi menjadi tujuh tahap sebagai berikut:

1.5.1 Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur dilakukan pencarian materi yang berkaitan dengan pokok bahasan pada Tugas Akhir ini. Referensi dapat bersumber dari jurnal maupun buku – buku yang ada. Dimana hal – hal yang dipelajari lebih dalam yaitu mengenai :

1. Konsep pendingin udara metode penguapan air
2. Metode kontrol logika fuzzy

1.5.2 Perancangan Perangkat Keras

Pada tahapan ini dilakukan perancangan perangkat keras yang menunjang untuk digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini.

1.5.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahapan ini terdiri dari perancangan *firmware* untuk sistem tertanam yang digunakan sebagai unit pemroses data dan pengeksekusi metode kontrol logika fuzzy.

1.5.4 Pengujian dan Optimasi Sistem

Pengujian sistem dilakukan setelah perangkat sistem telah dilengkapi dengan perangkat keras dan lunak yang memadai. Pengujian akan dilakukan di ruangan dengan karakteristik yang sesuai dengan batasan masalah yang telah ditetapkan dan dengan merubah parameter internal dan eksternal untuk mengetahui karakteristik dan memperbaiki kinerja sistem jika dibutuhkan. Parameter internal yang akan diubah diantara lain adalah:

1. Himpunan masukan dan keluaran fuzzy
2. Tabel peraturan fuzzy

sedangkan parameter eksternal yang akan diubah adalah *set point* suhu *ambient* dan kelembaban relatif ruangan.

1.5.5 Penarikan Kesimpulan

Pada tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan mengenai kemampuan pendingin udara metode penguapan air dengan metode kontrol logika fuzzy sebagai metode alternatif untuk pendingin ruangan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB II TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dijelaskan tentang dasar teori yang membahas tentang teori konsep pendingin udara metode penguapan air, metode kontrol logika fuzzy dan *flowchart* cara kerja sistem.

BAB III DESAIN PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan secara rinci dan bertahap tentang tahap perancangan dan desain sistem.

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

Pada bab ini akan ditampilkan hasil parameter sebelum dan setelah dilakukan optimasi, kemudian dilakukan Analisis dari data yang telah diperoleh berdasarkan rumusan masalah.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan, dan saran berdasarkan yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan analisa tentang penggunaan pendingin udara metode penguapan air menggunakan *ultrasonic humidifier* sebagai pendingin udara alternatif
2. Memberikan analisa tentang metode kontrol logika fuzzy yang diterapkan untuk pendingin udara metode penguapan air

BAB 2

TEORI PENUNJANG

2.1 Psikrometrik

Psikrometrik adalah bidang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang karakter fisik dan termodinamik dari campuran gas dan uap. Pada umumnya psikrometrik digunakan untuk mengetahui karakteristik udara dengan uap air pada aplikasi HVAC (*Heating, ventilation and air conditioning*) dan meteorologi. Beberapa parameter penting yang dipelajari di psikrometrik adalah, temperatur bola basah, temperatur bola kering, dan kelembaban udara.

2.1.1 Kelembaban Udara

Udara merupakan campuran dari beberapa elemen yang berbentuk gas. Hukum Dalton menyatakan bahwa tekanan udara merupakan penjumlahan dari semua tekanan parsial masing-masing elemen tersebut, termasuk uap air. Tekanan parsial dari uap air dapat dinyatakan sebagai jumlah uap air yang terdapat pada udara. Tekanan uap air maksimum atau saturasi merupakan fungsi tekanan uap air dengan suhu udara dan jika telah terjadi saturasi, maka akan terjadi kondensasi uap air yang berlebih menjadi air dalam bentuk cair. Nilai saturasi uap air dapat diperoleh dengan rumus Clausius-Clapeyron yang telah diaproksimasi dengan metode August-Roche-Magnus:

$$e_s = 6.1094e^{\frac{17.625T}{T+243.04}} \quad (2.1)$$

e_s = Tekanan saturasi uap air (hPa)

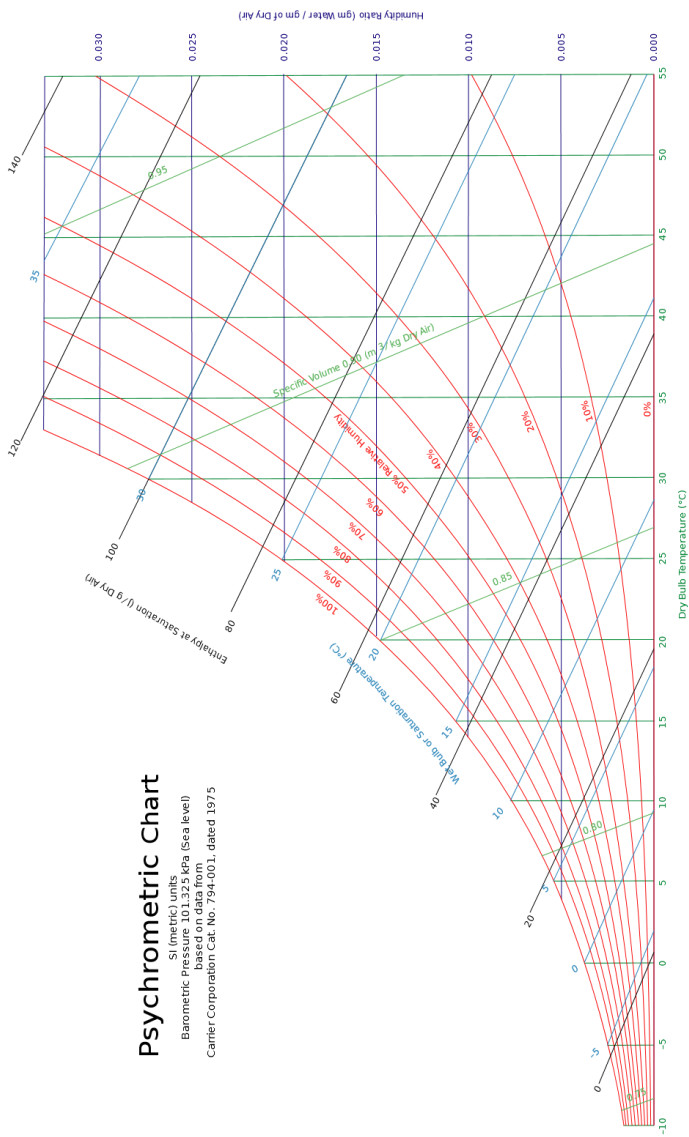
T = Suhu udara (°C)

Kelembaban adalah besaran fisik yang menyatakan tentang banyaknya uap air yang terdapat pada udara. Kelembaban pada umumnya diukur pada 3 nilai, yaitu kelembaban absolut, kelembaban spesifik, dan kelembaban relatif. Kelembaban absolut adalah besaran yang menunjukkan massa uap air per satuan volume udara (g/m^3), sedangkan kelembaban spesifik menyatakan tentang perbandingan uap air dengan massa udara (g/kg). Kelembaban relatif merupakan perbandingan antara tekanan uap air dengan tekanan uap air saturasi pada suhu tersebut.

$$RH = \frac{e}{e_s} \% \quad (2.2)$$

e = tekanan parsial uap air (hPa)

2.1.2 Grafik Psikrometrik



Gambar 2.1 Grafik psikrometrik [1]

Grafik psikrometrik adalah grafik dari parameter termodinamik pada udara lembab dengan tekanan konstan yang pada umumnya mengacu pada tekanan pada permukaan air laut (101.325 kPa). Kurva psikrometrik dapat menjelaskan hubungan antara temperatur bola basah, bola kering, kelembaban relatif, rasio kelembaba, dan lain-lain. Kurva psikrometrik umumnya terdiri dari temperatur bola kering pada axis horizontal dan rasio kelembaban relatif pada axis vertikal dengan parameter lain seperti kurva kelembaban relatif dan temperatur bola basah.

2.2 Pendingin Udara Metode Penguapan Air

Pendingin udara adalah alat yang dapat menurunkan suhu pada udara dengan berbagai cara untuk memindah energi panas yang terdapat pada udara. *Wet bulb temperature* (temperatur bola basah) dan *dry bulb temperature* (temperatur bola kering) merupakan dua parameter yang penting pada pendingin udara metode penguapan air. Temperatur bola basah adalah suhu udara pada saat udara mengalami saturasi pada kondisi kelembaban udara relatif 100%, sedangkan temperatur bola kering adalah suhu udara tanpa terpengaruh oleh nilai kelembaban relatif. Potensi pendingin udara metode penguapan air terletak pada depresi temperatur bola basah, yaitu perbedaan antara temperatur bola kering dan bola basah [3].

Pendingin udara metode penguapan air atau *evaporative cooler* (EC) adalah proses transfer massa dan energi berdasarkan transformasi dari *sensible heat* menjadai *latent heat* (kalor laten) [4]. *Sensible heat* adalah kalor yang dipindahkan dari suatu sistem termodinamik yang tidak merubah parameter makroskopik sistem, seperti volume dan tekanan. Sedangkan, kalor laten adalah kalor yang dipindahkan dari suatu sistem pada proses temperatur konstan yang akan merubah parameter sistem, seperti volume dan tekanan. Pada kondisi adiabatik ideal, suhu udara akan menurun selama proses transformasi berjalan dan kelembaban relatif udara naik. Perpindahan kalor akan terjadi hingga udara mencapai kondisi saturasi pada saat suhu udara dan air sama, yang biasa disebut sebagai suhu saturasi adiabatik pada proses saturasi adiabatik. Berikut adalah formula perpindahan kalor konveksi pada termometer bola basah [4]:

$$q = h(T_{db} - T_{wb}) \quad (2.3)$$

q = fluks kalor (W/m²)

h = koefisien konvektif kalor (W/m^2C)

T_{db} = temperatur udara (C)

T_{wb} = temperatur bola basah (C)

Proses adiabatik terjadi pada saat terjadi perpindahan kalor dari *bulb* ke udara, sehingga akan terjadi perpindahan massa yang berupa volume dan tekanan yang dapat dirumuskan [4]:

$$\dot{m} = h_m \cdot \rho_{da} (X_{sat/Twb} - X_{\infty}) \quad (2.4)$$

\dot{m} = perpindahan massa (kg/m^2)

h_m = koefisien konvektif massa (kg/m^2s)

ρ_{da} = kerapatan udara kering (kg/m^3)

$X_{sat/Twb}$ = kelembaban udara pada kelembaban relatif (kg_{air}/kg_{udara})

X_{∞} = kelembaban absolut udara (kg_{air}/kg_{udara})

perpindahan massa dapat dilakukan dengan memberi energi pada suatu fluida dengan memberi kalor sesuai kalor laten fluida (λ) tersebut.

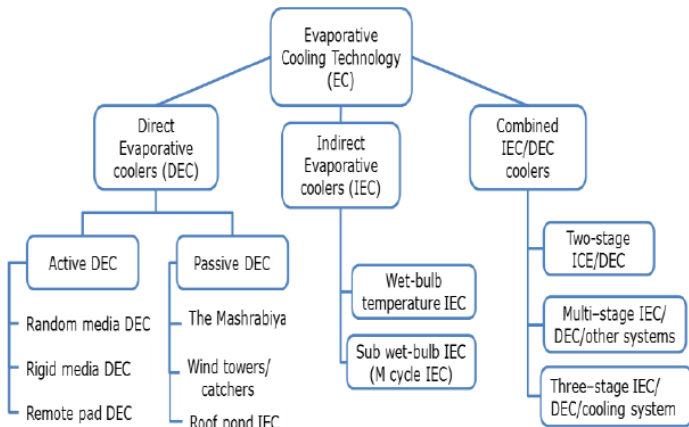
$$\dot{m} = \frac{q}{\lambda} \quad (2.5)$$

sehingga rumus perpindahan kalor dapat ditulis menjadi [4]:

$$q = \lambda \cdot h_m \cdot \rho_{da} (X_{sat/Twb} - X_{\infty}) \quad (2.6)$$

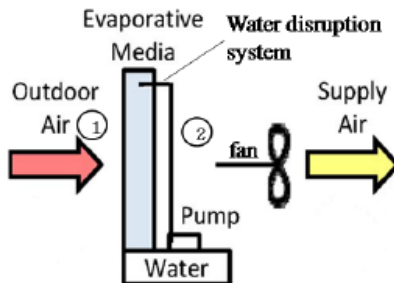
λ = kalor laten (J/kg)

Terdapat dua buah jenis pendingin udara dengan metode penguapan air, yaitu secara langsung (*direct evaporative cooling*) dan tidak langsung (*indirect evaporative cooling*). Kedua jenis dapat digabungkan menjadi sistem *combined multi-stage* untuk mendapatkan performa pendinginan yang lebih tinggi. Berikut pada gambar 2.2 adalah klasifikasi dari beberapa jenis pendingin udara dengan metode penguapan air:

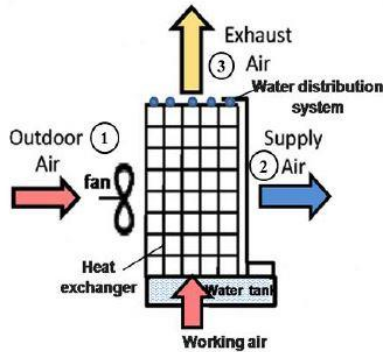


Gambar 2.2 Klasifikasi tipe EC [1]

Pada jenis *direct evaporative cooling* (DEC), udara suplai akan kontak langsung dengan uap air yang akan menaikkan nilai kelembaban udara dan menurunkan suhu udara. Udara kering dapat ditarik dengan menggunakan bantuan mekanis seperti kipas atau secara pasif dengan menggunakan menara pendingin (*cooling tower*) dengan geometri yang didesain secara rupa yang akan menarik udara kering untuk kontak langsung dengan air dan menghasilkan uap air. *Indirect evaporative cooling* (IEC) menggunakan *heat exchanger* seperti radiator yang dapat mentransfer energi dari proses *direct evaporative cooling* ke aliran suplai udara tanpa melakukan kontak.



Gambar 2.3 Ilustrasi DEC [1]

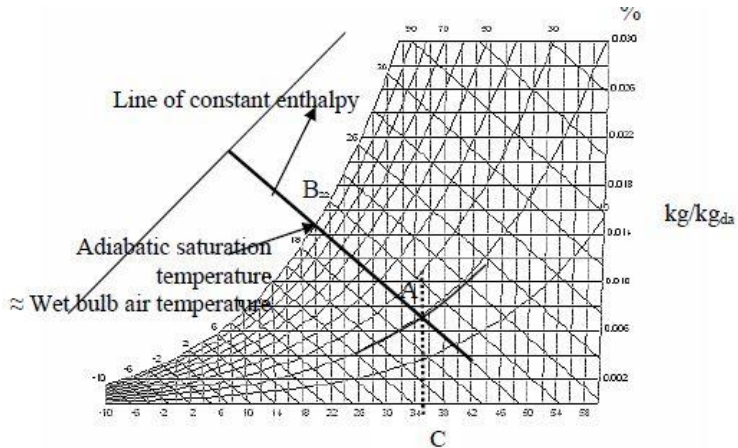


Gambar 2.4 Ilustrasi IEC [1]

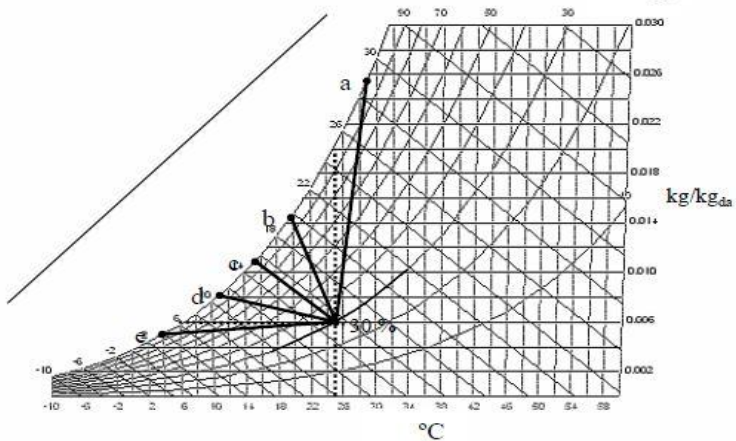
Kelebihan dari DEC adalah konstruksi mekanis yang lebih sederhana dibandingkan dengan IEC yang menjadi pilihan desain pada penelitian Tugas Akhir ini, namun memiliki kemampuan yang terbatas oleh kelembaban relatif dari udara suplay. Jenis IEC dapat menurunkan suhu udara di bawah nilai temperatur bola basah dan hanya menguapkan sedikit udara pada aliran udara keluaran yang akan membuat kinerja efektif di keadaan udara panas yang lembab karena udara suplai tidak mengalami kenaikan kelembaban yang akan mengoptimalkan suhu pada zona nyaman termal.

Proses pendingin udara metode penguapan air secara teoritis adalah proses adiabatik, di mana udara dilembabkan ketika berkontak langsung dengan air dan ketika beban *sensible heat* dari udara kontak dengan permukaan air dan berubah menjadi kalor laten yang menyebabkan turunnya suhu udara dan kelembaban relatif udara naik.

Pada kurva psikrometrik di gambar 2.5 dapat dilihat bahwa temperatur bola kering akan turun dan rasio kelembaban udara naik hingga mencapai saturasi temperatur bola basah. Pada kondisi non-ideal, pendingin udara metode penguapan air memiliki parameter yang dapat memengaruhi proses perpindahan kalor, yaitu *sensible heat* dari air yang berupa suhu air. Pada proses pendinginan, nilai entalpi udara berkurang, namun nilai entalpi air bertambah dan sebaliknya hingga tercapai kondisi saturasi adiabatik (T_{as}) pada saat temperatur udara dan air sama. Terdapat beberapa kemungkinan kurva pada kurva psikrometrik yang bergantung dari suhu air.



Gambar 2.5 Kurva psikrometrik teoritis [4]



Gambar 2.6 Kurva psikrometrik terhadap temperatur air [4]

Terdapat 5 kemungkinan yang terjadi, yaitu:

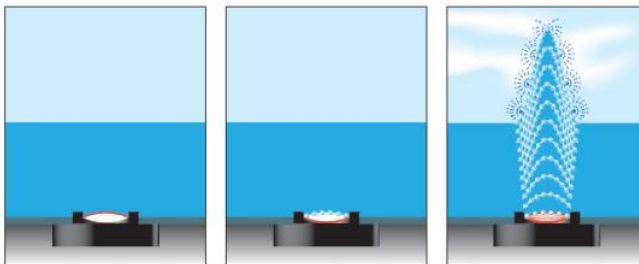
- Temperatur air lebih tinggi dari temperatur bola kering ($T_w > T_{db}$)
- Temperatur air di antara temperatur saturasi diabatik dan bola kering ($T_{db} \geq T_w > T_{as}$)

- c. Temperatur air sama dengan temperatur saturasi diabatik ($T_w = T_{as}$)
- d. Temperatur air di antara temperatur bola basah dan saturasi diabatik ($T_{as} > T_w > T_{wb}$)
- e. Temperatur air di bawah temperatur bola basah ($T_w > T_{wb}$)

Pada kondisi riil, pada umumnya pendingin udara metode penguapan air mengikuti kurva b atau c.

2.3 Penguap Air Ultrasonik

Penguap air ultrasonik atau *ultrasonic humidifier* adalah alat yang menguapkan air menjadi uap air dengan menggunakan sebuah membran diafragma yang bergetar pada frekuensi ultrasonik. Penguap air ultrasonik menggunakan transduser dengan efek piezoelektrik, yaitu dengan akumulasi muatan listrik ketika diberi beban mekanis atau sebaliknya untuk menghasilkan getaran mekanis pada membran. Transduser piezoelektrik yang terletak di bawah permukaan air bergetar pada frekuensi ultrasonik yang tidak bisa didengarkan manusia (> 20 kHz) yang menghasilkan butiran air yang setara dengan ukuran uap air. Ukuran butiran air tidak akan berubah seiring berkurangnya umur transduser yang digunakan menjadi kelebihan dari *ultrasonic humidifier*. Prinsip kerja *ultrasonic humidifier* adalah berdasarkan dari dua efek fisik yang diketahui sebagai *cavitation bubble implosion* dan *capillary wave theory*.



Gambar 2.7 Penguap air ultrasonik [5]

Efek *cavitation bubble implosion* adalah terciptanya gelembung udara di dalam air akibat dari getaran membran yang akan naik ke permukaan lalu pecah dan menghasilkan butiran-butiran air ke udara [5]. Terdapat dua mekanisme terbentuknya gelembung udara, yaitu

mekanisme yang melibatkan gelembung yang sudah terbentuk di dalam air dan partikel padat yang terdapat di dalam air dengan partikel gas yang terperangkap di dalam partikel padat. Gelembung udara yang terbentuk akan terus membesar ukurannya hingga mencapai ukuran kritis resonansi. Berikut di bawah ini adalah persamaan radius gelembung resonansi terhadap frekuensi [6]:

$$R_r = \sqrt{\frac{3\gamma P_\infty}{\rho\omega}} \quad (2.7)$$

R_r = Radius resonansi gelembung (m)

γ = Rasio kalor spesifik

P_∞ = Tekanan fluida ambient (Pa)

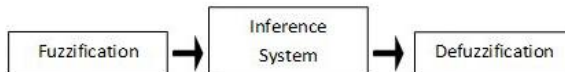
ρ = Kerapatan massa jenis fluida (kg/m^3)

ω = Frekuensi angular ultrasonik (rad/s)

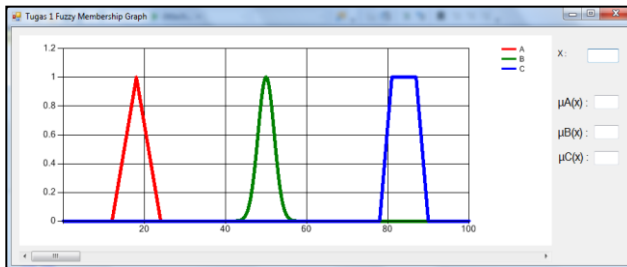
Capillary wave theory adalah efek terbentuknya terbentuknya gelombang permukaan Rayleigh akibat dari gelombang ultrasonik yang dibangkitkan yang menyemburkan butiran air ke udara akibat. Kedua efek tersebut bekerja bersamaan sehingga didapatkan butiran-butiran air yang menyembur dari permukaan air.

2.4 Kontrol Logika Fuzzy

Kontrol logika fuzzy menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan menggunakan logika fuzzy yang memiliki nilai derajat keanggotaan himpunan kontinyu dari 0 hingga 1 [7]. FIS menerima input yang berupa himpunan *crisp* yang lalu dirubah menjadi himpunan fuzzy yang disebut dengan fuzzifikasi. Hasil fuzzifikasi menjadi masukan himpunan fuzzy akan diproses oleh algoritma inferensi fuzzy yang berupa tabel peraturan yang akan menghasilkan nilai keluaran himpunan fuzzy. Keluaran himpunan fuzzy harus dikembalikan ke dalam bentuk himpunan *crisp* agar dapat diaplikasikan di dunia nyata dengan proses yang dinamakan dengan defuzzifikasi



Gambar 2.8 Blok diagram kontrol logika fuzzy



Gambar 2.9 Fungsi himpunan fuzzy

		Distance				
		Very Short	Short	Medium	Far	
Speed	Low	Medium Brake	Soft Brake	No Brake	No Brake	
	Medium	Hard Brake	Medium Brake	Medium Brake	Low Brake	
	High	Hard Brake	Hard Brake	Medium Brake	Low Brake	
	Very High	Hard Brake	Hard Brake	Hard Brake	Medium Brake	

Gambar 2.10 Rule table kontrol logika fuzzy

Fuzzifikasi adalah proses perubahan himpunan crisp ke himpunan fuzzy. Pada umumnya fungsi himpunan fuzzy yang digunakan adalah segitiga, *gaussian*, dan trapesium. Fungsi himpunan fuzzy merepresentasikan nilai derajat keanggotaan fuzzy sebagai fungsi dari nilai himpunan crisp.

Sistem inferensi dalam fuzzy berfungsi sebagai pengolah masukan input himpunan fuzzy dengan tabel peraturan untuk menghasilkan keluaran yang berupa himpunan fuzzy. Tabel peraturan adalah koleksi pernyataan linguistik yang menjelaskan bagaimana FIS akan menentukan keluaran himpunan fuzzy. Secara linguistik peraturan fuzzy ditulis dengan *if-then statement* seperti berikut:

if (masukan himpunan fuzzy 1) **and/or** (masukan himpunan fuzzy 2), **then** (keluaran himpunan fuzzy)

atau secara linguistik dapat dicontohkan, jika suhu tinggi dan kelembapan rendah, maka ruangan berudara panas.

Terdapat dua jenis sistem inferensi dalam FIS, yaitu metode Mamdani dan Sugeno. Perbedaan keduanya terletak pada bagaimana hasil keluaran himpunan fuzzy dihasilkan. Metode Mamdani menghasilkan keluaran himpunan fuzzy dengan operasi *MIN-MAX* pada pernyataan *if*- pada masukan himpunan fuzzy untuk memotong derajat keanggotaan himpunan fuzzy keluaran yang lalu akan dilakukan operasi *and* pada semua himpunan fuzzy keluaran yang memenuhi tabel peraturan fuzzy.

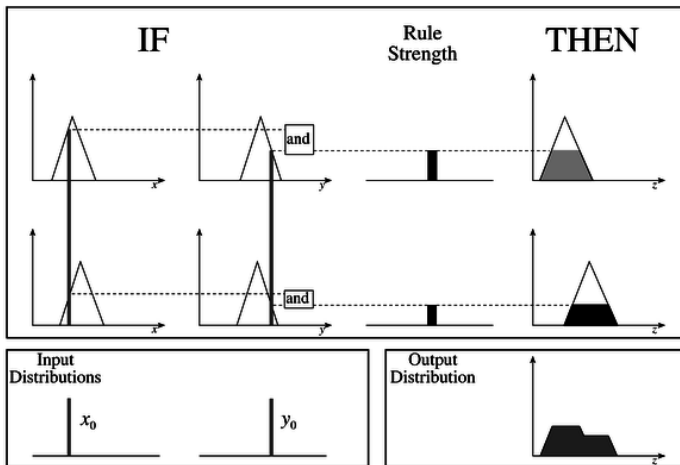
Metode Sugeno tidak memiliki himpunan fuzzy keluaran, sehingga nilai keluaran himpunan *crisp* tidak akan didapatkan melalui proses defuzzifikasi. Nilai keluaran dihitung melalui perkalian dari masing-masing input dengan konstanta dan dijumlahkan. Berikut adalah perhitungan untuk keluaran dari metode Sugeno.

$$x^* = \frac{\gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \quad (2.8)$$

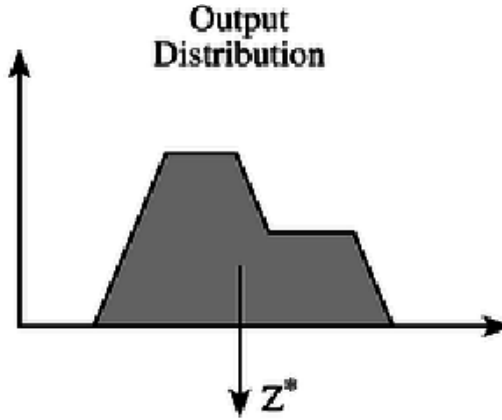
x^* = nilai hasil keluaran crisp

x = nilai keluaran *if-then statement*

γ = konstanta pengali keluaran



Gambar 2.11 Sistem inferensi Mamdani [7]



Gambar 2.12 Defuzzifikasi metode *centroid* [7]

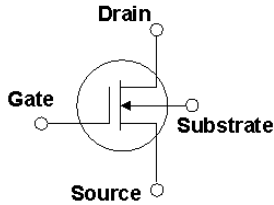
Defuzzifikasi merupakan proses untuk merubah sebuah himpunan fuzzy menjadi nilai crisp. Proses ini digunakan pada FIS metode Mamdani untuk mendapatkan hasil keluaran crisp dari keluaran himpunan fuzzy. Terdapat banyak metode defuzzifikasi yang dapat digunakan dan metode *centroid* merupakan metode yang paling sering digunakan. Metode *centroid* menghitung titik massa dari himpunan fuzzy keluaran untuk didapatkan titik yang menjadi nilai keluaran crisp.

$$Z^* = \frac{\sum_n Z_n \mu_c(Z_n)}{\sum_n \mu_c(Z_n)} \quad (2.9)$$

Z^* merupakan nilai keluaran *crisp* dan Z_n adalah derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy keluaran pada μ_c .

2.5 MOSFET

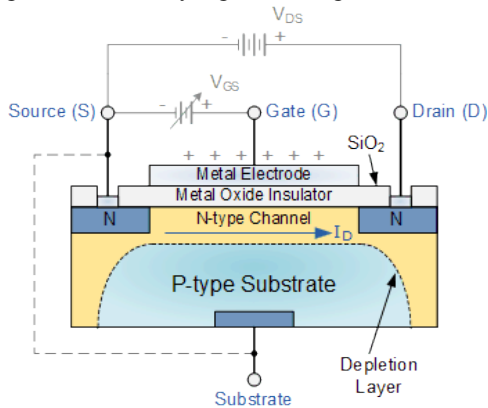
MOSFET (*metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*) adalah salah satu jenis transistor yang pada umumnya digunakan pada aplikasi *switching*. MOSFET terbuat dari bahan semikonduktor yang pada umumnya silikon dan memiliki 3 buah pin terminal, yaitu G (Gate), D (Drain), dan S (Source).



n-Channel MOSFET

Gambar 2.13 N-channel MOSFET [8]

Struktur MOSFET pada umumnya terdiri dari *gate* yang terbuat dari *polysilicon* yang secara elektrik terhalangi oleh bahan dielektrik silikon oksida dari kanal *drain* dan *source*. Ketika tegangan diberikan pada terminal *gate*, maka medan listrik akan menembus lapisan silikon oksida dan akan menghasilkan kanal yang terhubung secara elektrik.



Gambar 2.14 Struktur MOSFET [9]

MOSFET memiliki kelebihan dibandingkan jenis transistor lainnya, karena membutuhkan daya yang sedikit pada kondisi “ON” dan tidak terlalu terpengaruh oleh suhu kerja. Rugi daya (P) pada MOSFET untuk aplikasi switching dapat dihitung dengan menghitung rugi resistif (P_R) dan *switching* (P_s).

$$P_R = I_D \cdot R_{DSon}^2 \quad (2.10)$$

$$P_s = \frac{C_{RSS} \cdot V_{DS}^2 \cdot f \cdot I_{DS}}{I_G} \quad (2.11)$$

$$P = P_R + P_s \quad (2.12)$$

I_D = arus *drain* (A)

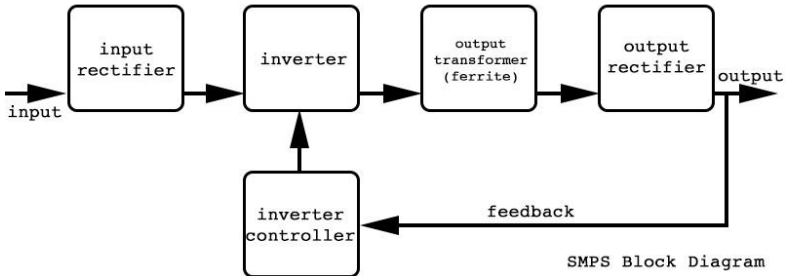
R_{DSon} = resistansi *drain-source* pada saat MOSFET menyala (Ohm)

C_{RSS} = *reverse-transfer capacitance* (F)

f = frekuensi *switching* (Hz)

I_G = arus *gate* (A)

2.6 Switching Mode Power Supply

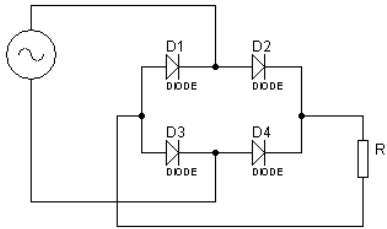


Gambar 2.15 Blok diagram SMPS

SMPS merupakan salah satu jenis *power supply* elektronis yang menggunakan regulator *switching* untuk merubah energi listrik. SMPS merubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC) untuk dapat digunakan oleh perangkat elektronik yang membutuhkan tegangan searah. Keuntungan dari SMPS adalah efisiensi daya yang lebih tinggi, bentuk yang lebih kompak, dan lebih ringan dari *linear power supply*. Berikut di bawah ini adalah diagram blok dari SMPS:

2.6.1 Input Rectifier

Rangkaian penyearah berfungsi untuk menyearahkan arus bolak-balik atau *alternating current* (AC) menjadi arus searah atau *direct current* (DC). Rangkaian penyearah dapat direalisasikan dengan rangkaian jembatan dioda dengan konfigurasi *full-bridge* seperti di bawah:



Gambar 2.16 Rangkaian penyearah masukan *full-bridge*

2.6.2 Inverter

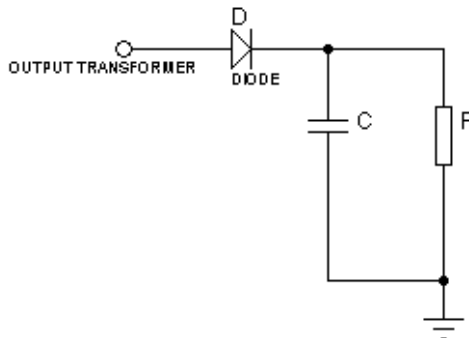
Rangkaian *inverter* adalah rangkaian untuk merubah tegangan DC menjadi AC dengan frekuensi tinggi.

2.6.3 Output Transformer

Transformer output berfungsi sebagai media penyimpanan energi sementara pada proses *switching* dan sebagai isolator dari masukan tegangan tinggi AC ke keluaran tegangan rendah DC.

2.6.4 Output Rectifier

Rangkaian penyearah keluaran berfungsi seperti penyearah pada masukan untuk menyearahkan tngangan keluaran dan biasanya terdapat filter yang berupa kapasitor untuk mengurangi *ripple* pada tegangan output.



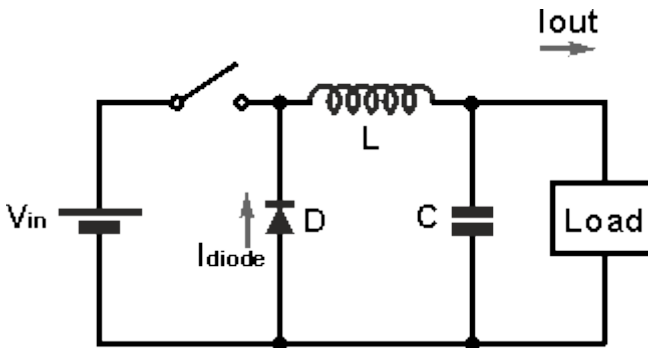
Gambar 2.17 Rangkaian penyearah keluaran

2.6.5 Inverter Controller

Kontroler *inverter* berfungsi sebagai kontroler untuk menjaga tegangan keluaran bernilai konstan dengan mengontrol proses *switching* pada tahapan *inverter*.

2.7 DC-DC Buck Converter

Buck Converter adalah konverter tegangan DC untuk menurunkan tegangan DC dengan metode *switching*. Tegangan keluaran dari *buck converter* selalu sama atau lebih rendah dari tegangan masukan. Berikut di bawah ini adalah rangkaian *buck converter*.



Gambar 2.18 Rangkaian *buck converter*

Cara kerja *buck converter* adalah pada saat saklar dalam keadaan “ON”, maka induktor L akan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet dan ketika saklar dalam keadaan “OFF”, maka induktor akan mengeluarkan energi yang telah disimpan kepada beban. Nilai tegangan keluaran dari *buck converter* dapat diperoleh dengan mengetahui parameter *duty cycle* dari saklar, yaitu rasio waktu saklar dalam keadaan “ON” dengan periode *switching* saklar. Berikut adalah rumus tegangan keluaran *buck converter*.

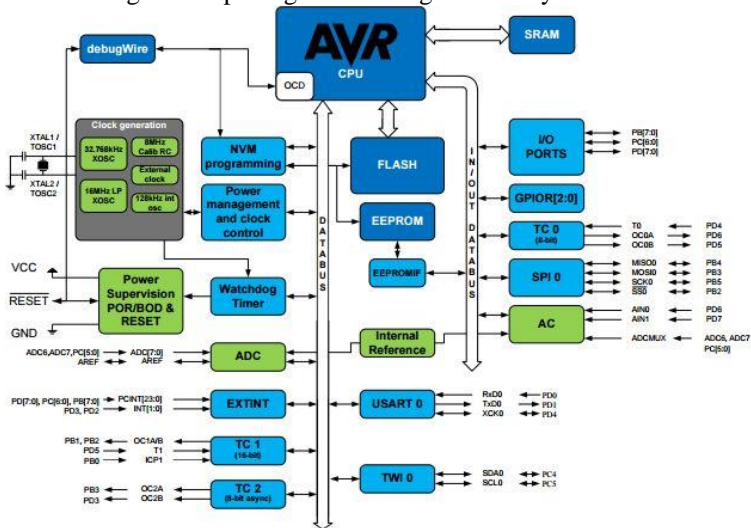
$$V_o = d \cdot V_{in} \quad (2.13)$$

V_o = tegangan keluaran (V)

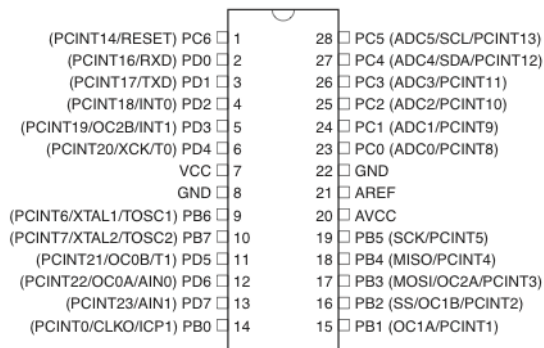
d = *duty cycle* (%)

V_{in} = tegangan masukan (V)

Atmel Atmega328P merupakan mikokontroler 8-bit AVR dengan berbasis RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) dengan teknologi *picoPower* dari Atmel yang ditujukan untuk sistem otomasi yang membutuhkan mikrokontroler yang sederhana, berdaya rendah, dan murah. Atmega328 dapat digunakan dengan catu daya 3.3 – 5 V.



Gambar 2.19 Diagram blok Atmel Atmega328P-PU [10]



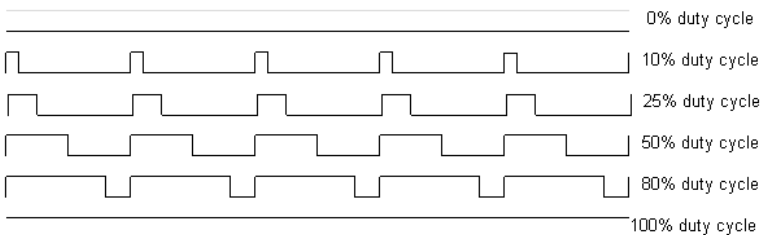
Gambar 2.20 *Pinout* Atmel Atmega328P-PU [10]

Berikut di bawah ini adalah spesifikasi dasar dari Atmega328 P-PU:

- 8-bit AVR
- 20 MIPS @ 20MHz
- 32kB *flash memory*, 2kB SRAM, 1kB EEPROM
- 28-pin PDIP
- 26 pin I/O
- 6-channel 10 bit ADC
- USART, SPI, dan 2-wire *serial communication* (I2C)
- 3.3 – 5 V *supply*

2.8.1 (*Pulse Width Modulation*) PWM

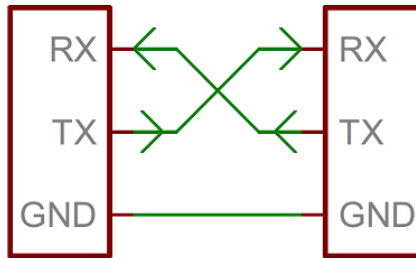
PWM adalah suatu teknik modulasi sinyal dengan mengubah *duty cycle* atau rasio waktu dari pulsa sinyal yang “ON” pada suatu periode pulsa. Sinyal PWM membutuhkan sinyal pembawa yang disebut dengan *PWM switching frequency* yang nilainya bergantung dari aplikasi yang dibutuhkan. Kelebihan modulasi sinyal PWM adalah rugi daya akibat proses *switching* yang rendah dan implementasi digital yang mudah. PWM pada umumnya digunakan sebagai sinyal penggerak motor, protokol komunikasi, hingga sebagai sinyal kontrol.



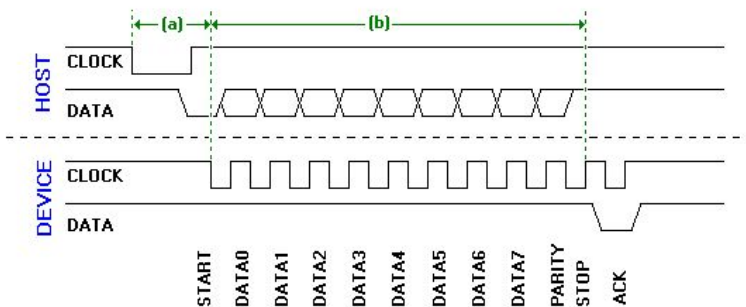
Gambar 2.21 Modulasi PWM [11]

2.8.2 Protokol Komunikasi USART

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) adalah protocol komunikasi serial elektronik yang dapat berkomunikasi secara sinkronis maupun asinkronis. Koneksi protocol USART dilakukan dengan dua pin TX (*transmitter*) dan RX (*receiver*) yang dikoneksikan pada masing-masing perangkat seperti pada gambar 2.22. USART mengirim data dalam sebuah paket atau *frame* yang pada umumnya mempunyai lebar 8 bit yang tertera pada gambar 2.23.



Gambar 2.22 Koneksi protokol USART

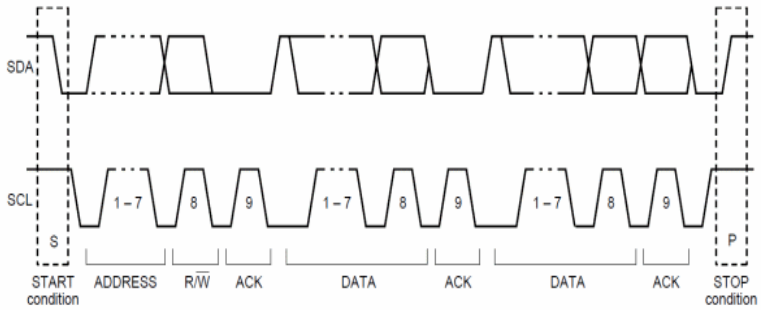


Gambar 2.23 Timing diagram USART [12]

2.8.3 Protokol Komunikasi I2C

I2C (*Inter-Integrated Circuit*) merupakan sebuah protocol komunikasi serial elektronik yang mempunyai kemampuan untuk *multi-master* dan *multi-slave*. Mode *multi-master* dan *multi-slave* dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan banyak perangkat dengan menggunakan *slave address* untuk masing-masing perangkat yang digunakan sebagai *slave*. Perangkat yang berfungsi sebagai *master* mengirimkan *clock* dan dapat memilih untuk berkomunikasi dengan menggunakan alamat perangkat pada perangkat *slave*, namun tidak sebaliknya.

I2C berkomunikasi dengan dua buah *port* SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*) yang masing-masing berfungsi sebagai jalur data dan kecepatan bus komunikasi yang pada umumnya mempunyai kecepatan 100 kbit dan 400 kbit per detik. Berikut di bawah ini adalah contoh *timing diagram* protokol I2C:



Gambar 2.24 *Timing diagram I2C* [13]

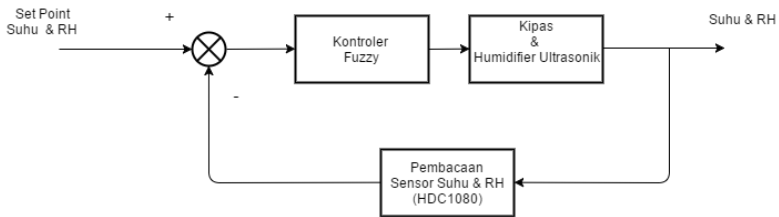
BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai tahapan dalam rancangan desain sistem yang melingkupi perancangan perangkat keras dan lunak sistem secara detail.

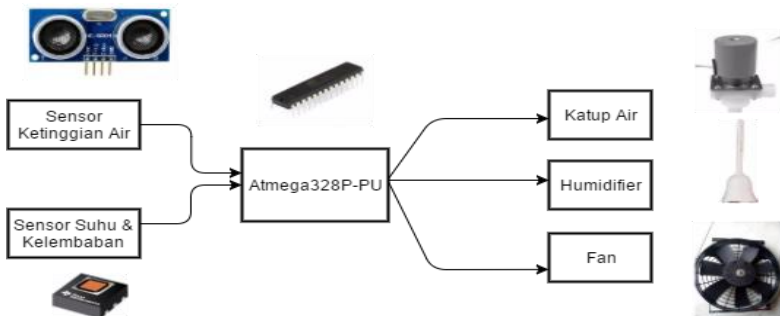
3.1.1 Desain Sistem Keseluruhan

Perancangan sistem dapat dibagi menjadi 3 buah bagian, yaitu sensor, kontroler fuzzy, dan aktuator. Berikut di bawah ini adalah blok diagram sistem keseluruhan:



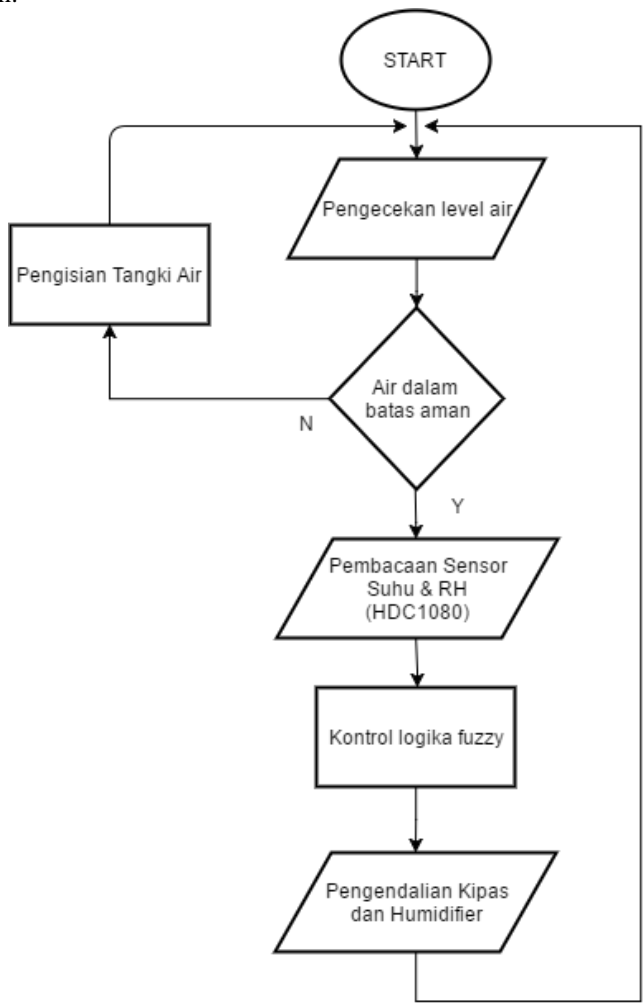
Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Sistem yang diajukan untuk penelitian Tugas Akhir ini menggunakan Atmel Atmega328P sebagai unit akuisisi data, pemrosesan data, dan pengeksekusi kontrol logika fuzzy. Berikut di bawah ini adalah blok diagram perangkat keras sistem:



Gambar 3.2 Blok diagram perangkat keras sistem

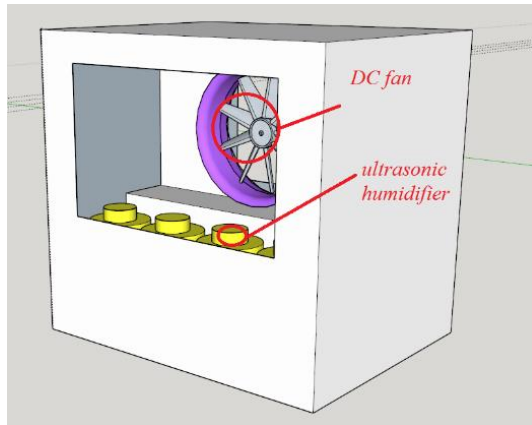
Sistem yang diajukan akan memonitoring keadaan ketinggian air pada tangki air yang akan digunakan untuk *ultrasonic humidifier* untuk menghindari kerusakan *ultrasonic humidifier* saat beroperasi pada keadaan tanpa air. Sistem akan melakukan pengisian pada saat air pada tangki pada tingkat yang rendah. Berikut di bawah ini adalah alur kerja sistem:



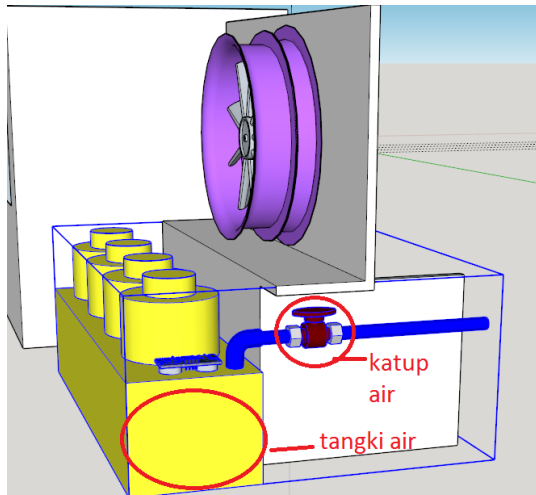
Gambar 3.3 Alur kerja sistem

3.1.2 Desain Fisik Sistem

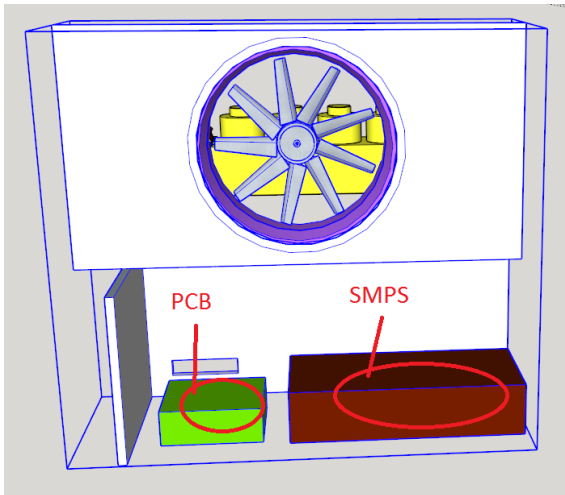
Sistem pendingin udara yang terdiri dari tangki air dan rangka untuk kipas akan diletakkan pada sebuah kotak yang berukuran (38 cm x 30 cm x 36 cm) dengan rongga pada bagian depan dan belakang kotak agar udara dapat masuk dan keluar. Berikut adalah desain fisik dari sistem:



Gambar 3.4 Tampak depan



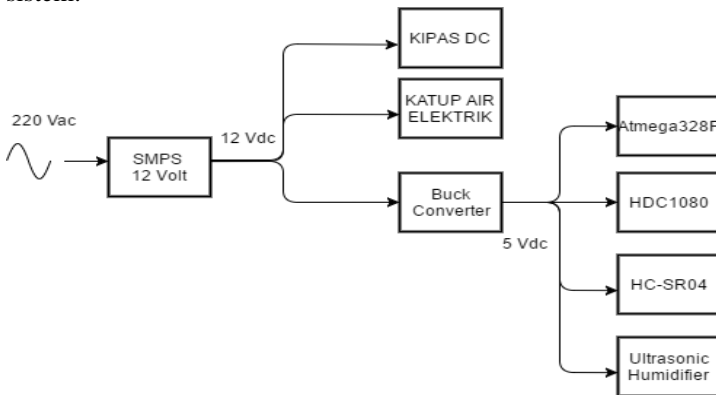
Gambar 3.5 Tampak samping tanpa kotak



Gambar 3.6 Tampak belakang tanpa kotak

3.1.3 Desain Catu Daya Sistem

Sistem membutuhkan catu daya yang berupa tegangan bolak-balik 220V yang dapat disuplai dari tegangan line PLN yang akan disearahkan dengan SMPS untuk didapatkan tegangan searah sebesar 12V. Namun, beberapa perangkat memerlukan tegangan 5V DC sehingga digunakan *buck converter* untuk menurunkan tegangan 12V DC menjadi 5V DC. Berikut di bawah ini adalah diagram dari catu daya sistem:



Gambar 3.7 Desain catu daya sistem

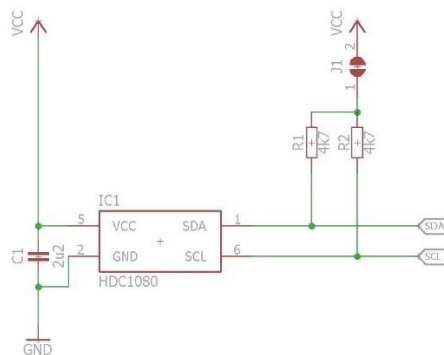
3.2 Sensor

Sensor digunakan untuk mengetahui besaran parameter yang akan menjadi parameter masukan untuk kontrol logika fuzzy dan pengukuran ketinggian air pada tangki air. Sensor Texas Instrument HDC1080 digunakan untuk mengukur kelembaban relatif (% RH) dan suhu ($^{\circ}\text{C}$) ruangan dan HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air pada tangki.

3.2.1 Texas Instrument HDC1080

TI HDC1080 adalah sensor kelembapan digital dengan sensor suhu yang terintegrasi dengan sensor suhu konsumsi daya yang rendah. HDC1080 dapat digunakan pada catu daya 2.7V hingga 5.5V, murah, dan berdaya rendah. Sensor kelembapan dan suhu HDC1080 dikalibrasi oleh pabrikan dan menggunakan protokol serial I2C untuk berkomunikasi. Berikut di bawah ini adalah spesifikasi TI HDC1080:

- Akurasi kelembapan relatif rata-rata $\pm 2\%$
- Akurasi suhu rata-rata $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- Akurasi kelembapan relatif $\pm 2\%$
- Akurasi suhu $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- Resolusi pengukuran 14 bit
- Arus suplai rata-rata 1.3uA dengan pengukuran 11bit pada 1 sampel per detik
- PWSO *package* (3mm x 3mm)

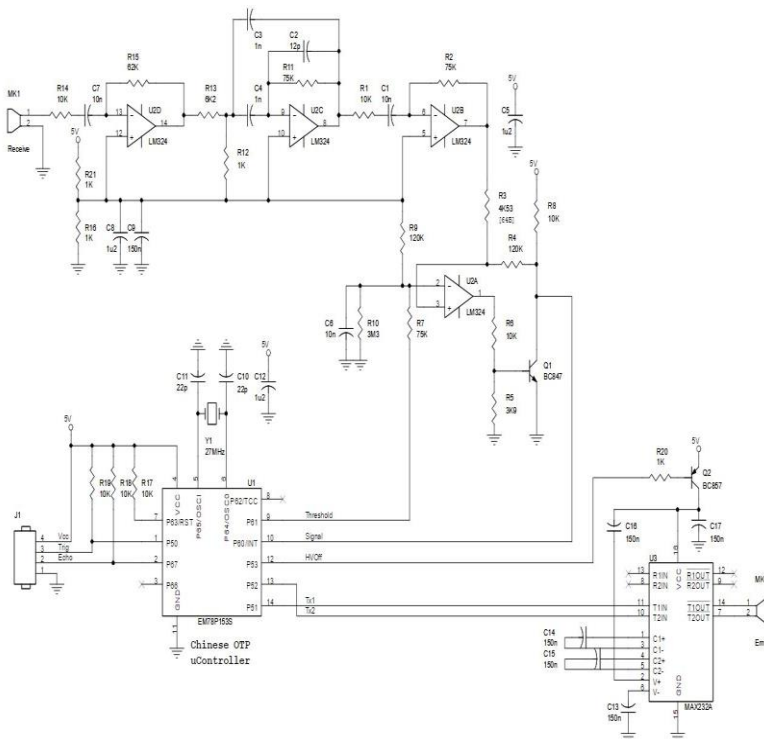


Gambar 3.8 Skematik Texas Instrument HDC1080

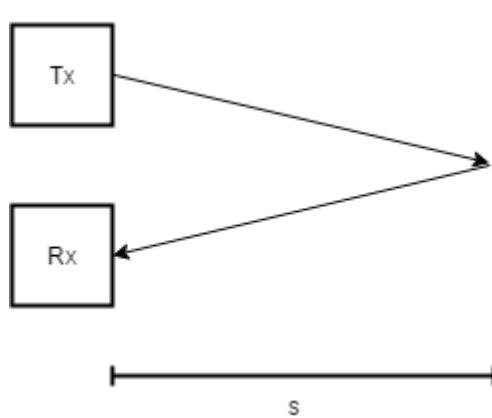
Nilai pembacaan suhu dan kelembaban relatif dengan menggunakan sensor TI HDC1080 akan dibandingkan dengan nilai pembacaan sensor yang terkalibrasi, lalu akan diperoleh koefisien kalibrasi dengan menggunakan regresi yang digunakan untuk kalibrasi nilai pembacaan sensor.

3.2.2 HC-SR04

HC-SR04 adalah modul pemancar dan penerima ultrasonik yang bekerja pada frekuensi 40kHz. Pengukuran jarak dengan menggunakan gelombang ultrasonik dapat dilakukan dengan metode *time of arrival* dengan menghitung waktu yang dibutuhkan gelombang untuk menempuh jarak tertentu dengan kecepatan gelombang yang konstan dan sudah diketahui.



Gambar 3.9 Skematik modul HC-SR04 [14]



Gambar 3.10 Metode pengukuran jarak *time of arrival*

$$s = \frac{t \cdot c}{2} \quad (3.1)$$

s = jarak benda (m)

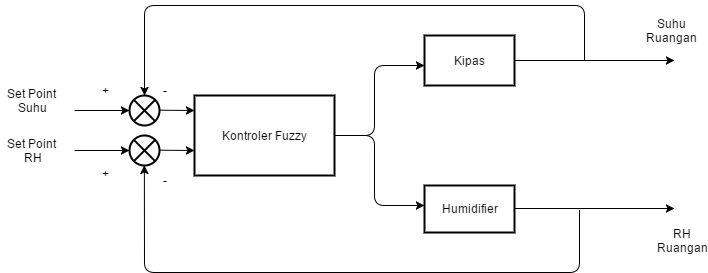
t = waktu tempuh gelombang (s)

c = konstanta kecepatan gelombang suara (340m/s)

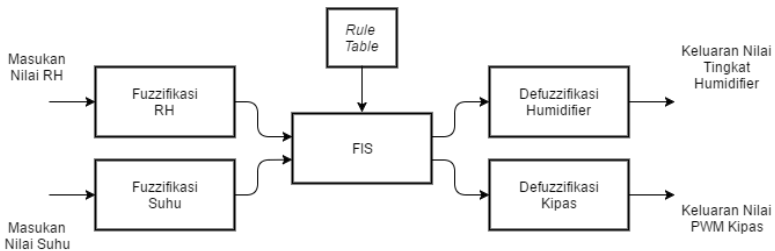
Nilai pengukuran jarak dengan menggunakan sensor HC-SR04 akan dibandingkan dengan nilai pengukuran jarak dengan menggunakan penggaris, lalu akan diperoleh koefisien kalibrasi dengan menggunakan regresi yang digunakan untuk kalibrasi nilai pembacaan sensor.

3.3 Kontroler Logika Fuzzy

Kontroler logika fuzzy digunakan sebagai metode kontrol untuk pendingin udara metode penguapan air karena terdapat dua buah parameter yang nilainya ingin dikontrol (RH dan suhu) dengan menggunakan dua buah aktuator (kipas dan *ultrasonic humidifier*). Berikut pada gambar 3.11 adalah blok diagram sistem kontrol dengan menggunakan kontrol logika fuzzy:



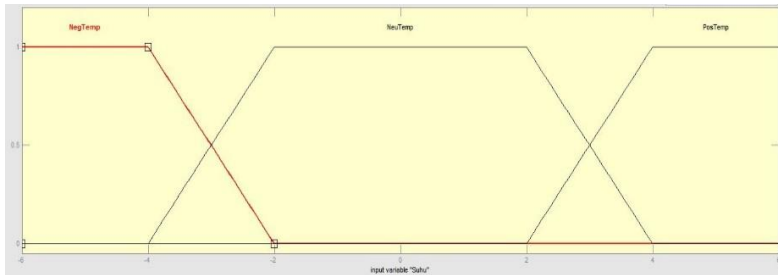
Gambar 3.11 Blok diagram kontrol sistem



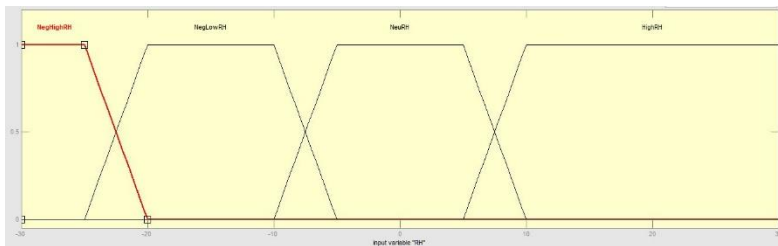
Gambar 3.12 Blok diagram kontrol logika fuzzy

3.3.1 Himpunan Masukan Fuzzy

Terdapat dua buah masukan fuzzy yang berupa bilangan *crisp*, yaitu suhu dan kelembaban relatif ruangan. Nilai masukan yang berupa bilangan *crisp* akan dirubah menjadi bilangan fuzzy dengan proses fuzzifikasi. Nilai masukan suhu dan RH fuzzy merupakan representasi nilai kesalahan pembacaan sensor dari nilai *set point* yang telah ditentukan, yaitu 25, 26, 27, dan 28 untuk suhu ruangan dan 75% untuk RH ruangan yang termasuk dalam zona nyaman termal yang didefinisikan oleh dengan SNI [15].



Gambar 3.13 Grafik fungsi keanggotaan masukan nilai suhu



Gambar 3.14 Grafik fungsi keanggotaan masukan nilai RH

Gambar 3.13 adalah grafik derajat keanggotaan himpunan fuzzy pada masukan yang berupa nilai kesalahan pada suhu. Masukan fuzzy yang berupa suhu memiliki 3 himpunan, yaitu :

- Negatif ($-5 - -1$)
- Netral ($-2 - 2$)
- Positif ($1 - 5$)

Gambar 3.14 adalah grafik derajat keanggotaan himpunan fuzzy pada masukan yang berupa nilai kesalahan pada RH. Masukan fuzzy yang berupa RH memiliki 4 himpunan, yaitu:

- NB (RH negatif besar) ($-70 - -20$)
- NL(RH negatif kecil) ($-25 - 2,5$)
- NE (RH netral) ($-5 - 5$)
- PO (RH positif) ($2,5 - 25$)

3.3.2 Himpunan Keluaran Fuzzy

Keluaran fuzzy yang juga berupa bilangan *crisp*, berupa parameter kecepatan *duty cycle* PWM kipas (%) dan tingkat *humidifier* didapatkan dengan proses defuzzifikasi. Keluaran fuzzy akan digunakan

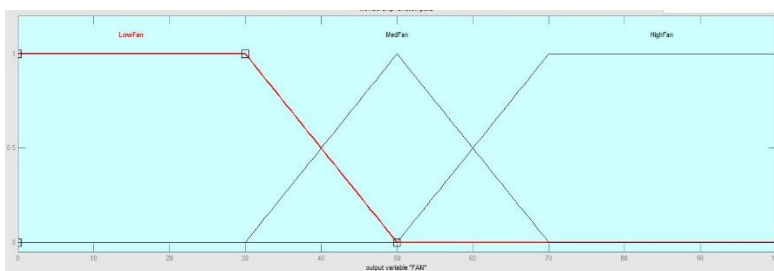
mikrokontroler untuk menggerakkan aktuator yang berupa kipas dan *humidifier*.

Gambar 3.15 adalah grafik derajat keanggotaan himpunan fuzzy pada keluaran yang berupa nilai *duty cycle* PWM kipas. Keluaran fuzzy yang berupa nilai *duty cycle* PWM kipas memiliki 3 himpunan, yaitu:

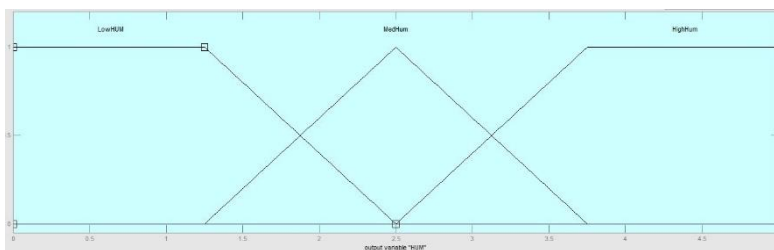
- Rendah (0 % – 50 %)
- Sedang (30 % – 70%)
- Tinggi (50 % – 100%)

Gambar 3.16 adalah grafik derajat keanggotaan keluaran himpunan fuzzy pada keluaran yang berupa nilai tingkat aktivitas *humidifier*. Keluaran fuzzy yang berupa nilai tingkat humidifier memiliki 5 himpunan, yaitu :

- Rendah (0 – 2,5)
- Sedang (1,75 – 3,25)
- Tinggi (2,5 – 5)



Gambar 3.15 Grafik fungsi keanggotaan keluaran *duty cycle* PWM kipas



Gambar 3.16 Grafik fungsi keanggotaan keluaran tingkat aktivitas humidifier

3.3.3 Fuzzy Inference System (FIS)

Sistem inferensi fuzzy merupakan sebuah sistem yang menggunakan bilangan fuzzy untuk mengolah masukan menjadi keluaran dengan menggunakan *rule table* untuk memetakan hubungan antara masukan dengan keluaran. Sistem inferensi yang digunakan pada penelitian Terdapat 12 buah kemungkinan masukan pada tahapan *if-then statement* dengan dua buah keluaran yang independen terhadap satu sama lain. Masing-masing keluaran memiliki *rule table* yang berbeda-beda untuk memetakan keluaran yang berupa nilai PWM kipas dan tingkat aktivitas *ultrasonic humidifier*. Tugas Akhir ini adalah berjenis Mamdani dengan proses defuzzifikasi dengan metode *centroid*. Inferensi jenis Mamdani digunakan karena bersifat intuitif, tabel aturan yang mudah dipahami, dan sederhana.

3.3.4 Rule Table

Tabel 3.1. *Rule table* keluaran himpunan duty cycle PWM kipas

RH SUHU	NB	NL	NE	PO
Negatif	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Netral	Sedang	Rendah	Sedang	Sedang
Positif	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Tabel 3.2 *Rule table* keluaran himpunan keluaran tingkat *humidifier*

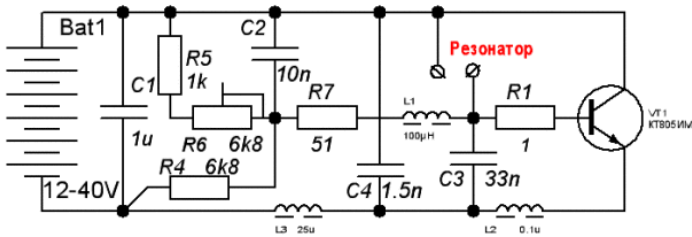
RH SUHU	NB	NL	NE	PO
Negatif	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
Netral	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
Positif	Tinggi	Sedang	Sedang	Rendah

3.4 Aktuator

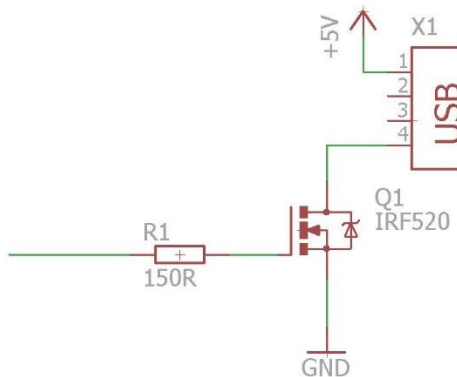
Aktuator digunakan untuk merubah parameter agar mencapai *set point* yang diinginkan.

3.4.1 Ultrasonic Humidifier

Ultrasonic Humidifier akan digunakan untuk menaikkan nilai RH udara dengan cara menyemburkan butiran-butiran air yang sangat kecil ke udara. Sistem yang diajukan menggunakan 4 buah USB *ultrasonic humidifier* yang masing-masing memiliki kapasitas humidifikasi sebesar 40ml/jam dan keperluan daya sebesar 2W.



Gambar 3.17 Rangkaian *ultrasonic humidifier* [16]



Gambar 3.18 Rangkaian *driver ultrasonic humidifier*

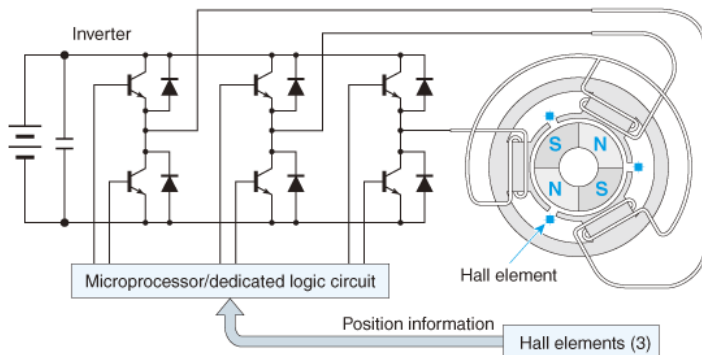
Ultrasonic Humidifier akan dikontrol oleh mikrokontroler dengan menggunakan parameter dari keluaran kontrol logika fuzzy dan

digunakan MOSFET agar tidak membebani mikrokontroler dengan *ultrasonik humidifier*. Berikut di bawah ini adalah rangkaian untuk *ultrasonik humidifier*.

3.4.2 ebmpapst DV6224

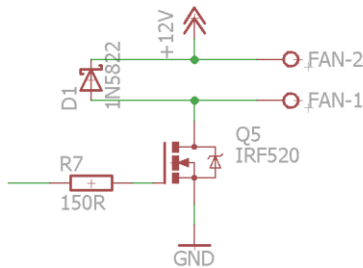
ebmpapst DV6224 adalah kipas DC berjenis BLDC (*Brushless Direct Current*) yang berfungsi untuk menghisap dan menghembuskan udara suplai agar kontak dengan butiran-butiran air dari *ultrasonik humidifier*. DV6224 mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Jangkauan tegangan kerja = 9 – 29 V
- Arus nominal = 1700mA
- Kecepatan = 4300 RPM
- Konsumsi daya = 40 W
- Laju aliran udara = 540 m³/h



Gambar 3.19 *Driver* motor BLDC [17]

DV6224 akan dikontrol oleh mikrokontroler dengan menggunakan parameter dari keluaran kontrol logika fuzzy yang akan dirubah menjadi sinyal PWM. MOSFET digunakan untuk proses *switching* PWM dari mikrokontroler ke DV6224, karena DV6224 membutuhkan catu daya 12V, tetapi mikrokontroler bekerja pada tegangan 5V, maka dibutuhkan MOSFET yang bekerja sebagai *voltage level shifter* dan *driver*. Berikut di bawah ini adalah rangkaian untuk DV6224.



Gambar 3.20 Rangkaian *driver* DV6224

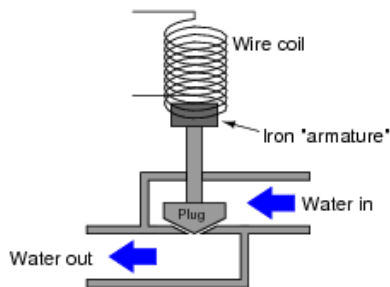
Dioda schottky 1N5822 digunakan untuk meredam *spike voltage* dan disipasi energi induktif pada saat motor dimatikan.

3.4.3 SLC-3

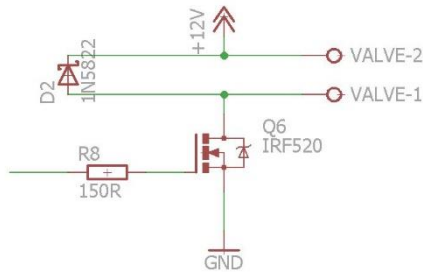
SLC-3 adalah solenoid katup elektrik yang digunakan untuk mengisi air ketika air dalam keadaan yang rendah. Katup solenoid SLC-3 berjenis *normally closed* (NC) yang tidak akan mengalir air ketika tidak diberi tegangan dan mengalir air jika diberi tegangan. SLC-3 mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe kumparan : NC *Anti-Explosion Exd CT5 coil*
- Diameter nominal : 8 mm
- Tekanan air : 0 – 8 bar

Functional diagram



Gambar 3.21 Diagram katup air elektrik [18]



Gambar 3.22 Rangkaian *driver* SLC-3

SLC-3 akan dikontrol oleh mikrokontroler dan akan menyala jika ditemui bahwa keadaan air pada tangki dalam keadaan rendah. MOSFET digunakan karena SLC-3 membutuhkan catu daya 12V, tetapi mikrokontroler bekerja pada tegangan 5V dan tidak bisa memberi daya untuk mengaktifkan solenoid, maka dibutuhkan MOSFET yang bekerja sebagai *voltage level shifter* dan *driver*. Berikut di bawah ini adalah rangkaian untuk SLC-3.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Realisasi Desain Sistem



Gambar 4.1 Tampak depan sistem



Gambar 4.2 Tampak belakang sistem

4.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor

4.2.1 Texas Instrument HDC1080

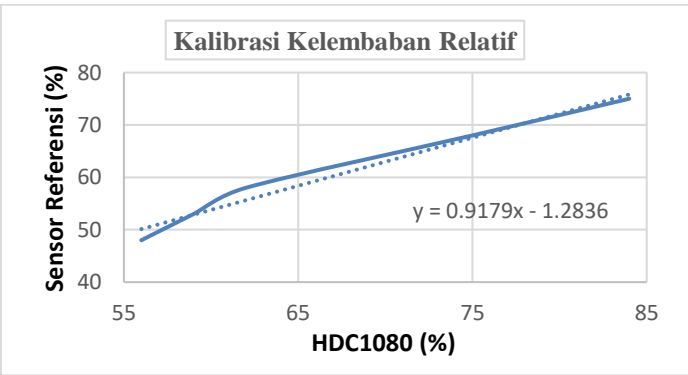
Pengujian ini dilakukan untuk mengukur akurasi sensor suhu dan RH dari IC Texas Instrument HDC1080 dan kalibrasi nilai sensor agar mendekati dengan nilai yang sebenarnya. Nilai pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai referensi, dihitung nilai kesalahannya, dan tindakan optimasi yang dilakukan untuk kalibrasi sensor.

4.2.1.1 Pengujian dan Kalibrasi RH

Pengujian nilai RH dilakukan pada beberapa nilai kelembaban ruangan ruangan yang berbeda dan nilai kelembaban relatif yang konstan pada *saturated salt solution* yang berupa garam NaCl yang mempunyai nilai RH yang konstan sebesar 75%. Pengujian dengan menggunakan *saturated salt solution* dilakukan dengan meletakkan sensor HDC1080 ke dalam sebuah kotak kedap udara dengan *saturated salt solution* dan sensor referensi dan ditunggu hingga nilai kelembaban relatif stabil.

Tabel 4.1. Nilai pengujian kelembaban relatif

HDC (°C)	Sensor terkalibrasi (°C)	Δerror (%)
56	48	14,1
59	53	11,3
62	58	6,9
75	68	10,3
84	75	12



Gambar 4.3 Grafik pengujian dan kalibrasi sensor kelembaban relatif

Nilai kelembaban memiliki kesalahan rata-rata sebesar 10,9 % pada jangkauan kelembaban yang diuji. Kalibrasi nilai kelembaban relatif dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linier dan dari hasil pengujian didapatkan rumus kalibrasi sensor yang tertera pada gambar 4.3.

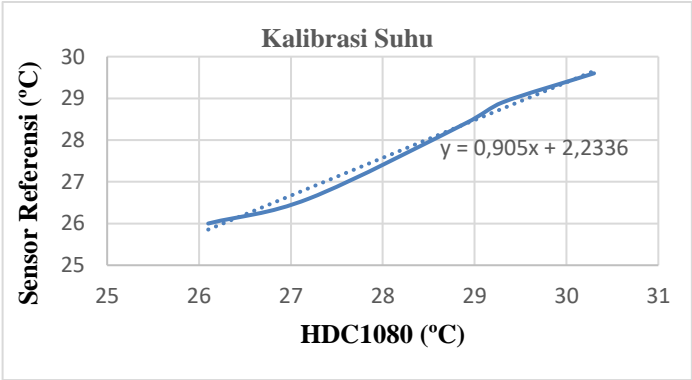
4.2.1.2 Pengujian dan Kalibrasi Suhu

Pengujian nilai suhu dilakukan pada beberapa suhu ruangan yang berbeda bersama dengan sensor terkalibrasi dan ditunggu hingga nilai pembacaan suhu stabil.

Nilai suhu memiliki kesalahan rata-rata sebesar 1,6 % pada jangkauan suhu yang diuji. Kalibrasi nilai suhu dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linier dan dari hasil pengujian didapatkan rumus kalibrasi sensor yang tertera pada gambar 4.4 .

Tabel 4.2. Nilai pengujian suhu

HDC (°C)	Sensor referensi (°C)	Δerror (%)
26,1	26	0,3
27,2	26,6	2,2
28,9	28,4	1,7
29,3	28,9	1,4
30,3	29,6	2,4

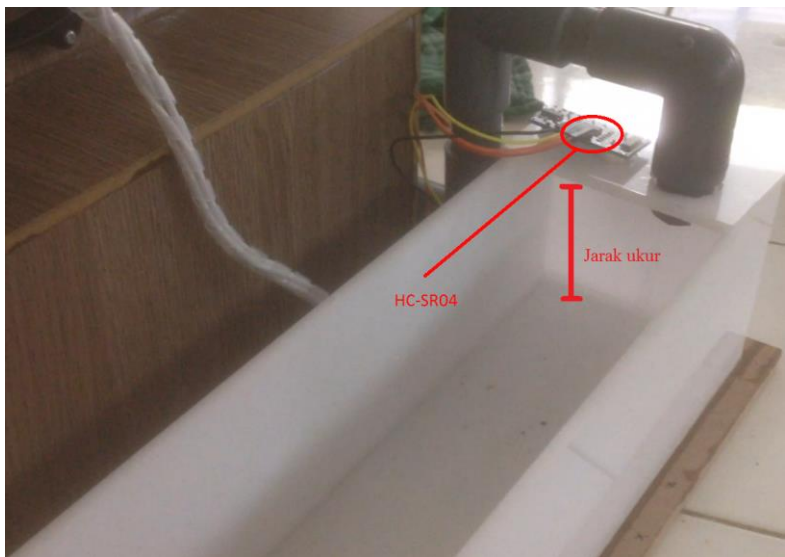


Gambar 4.4 Grafik pengujian dan kalibrasi sensor suhu

4.2.2 HC-SR04

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan akurasi pengukuran jarak oleh HC-SR04 dan kalibrasi nilai jarak agar mendekati nilai sebenarnya. Nilai pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai referensi, dihitung nilai kesalahannya, dan tindakan optimasi yang dilakukan untuk kalibrasi sensor.

Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak HC-SR04 dari jarak 2 hingga 10 cm yang diukur dengan menggunakan penggaris dan menghitung nilai pembacaan jarak untuk tiap kenaikan 1 cm.

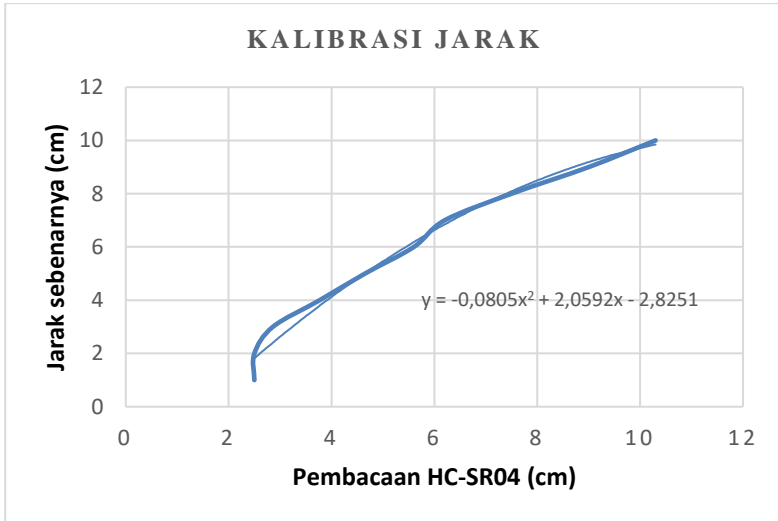


Gambar 4.5 Pengujian HC-SR04

Tabel 4.3 Nilai pengujian jarak

Jarak (cm)	HC-SR04 (cm)	Δ error (%)
2	2,5	25
3	2,86	-4,7
4	3,77	-5,8
5	4,65	-7
6	5,6	-6,7
7	6,2	-11,4
8	7,5	-6,3

9	9	0
10	10,3	3



Gambar 4.6 Grafik pengujian dan kalibrasi HC-SR04

HC-SR04 memiliki kesalahan rata-rata sebesar 1,54% pada pengukuran 2 hingga 10 cm. Kalibrasi dapat dilakukan dengan regresi polinomial dan persamaan yang didapatkan dapat digunakan untuk kalibrasi nilai jarak.

4.3 Pengujian Aktuator

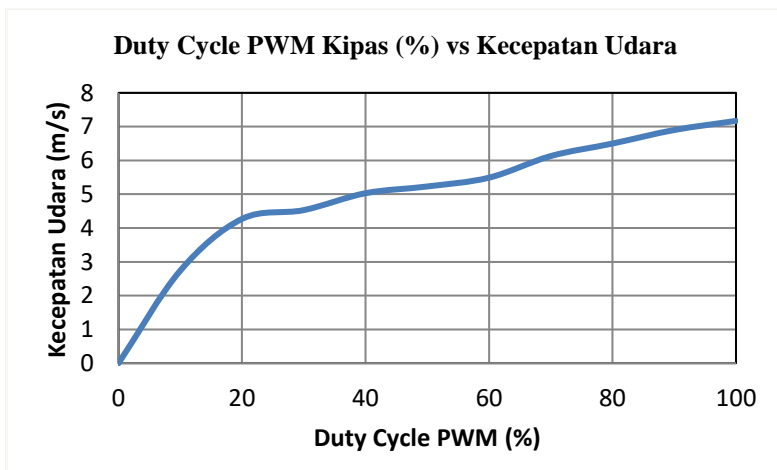
Pengujian aktuator dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari masing-masing aktuator.

4.3.1 Pengujian Karakteristik Kipas Ebmpapst DV6224

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *anemometer*, yaitu alat ukur mengukur kecepatan angin yang dihembuskan oleh kipas. Pengujian dilakukan dengan memberi sinyal PWM pada kipas dengan *duty cycle* sebesar 0% hingga 100% dengan kelipatan 10%.

Tabel 4.4. Nilai pengujian kecepatan angin kipas

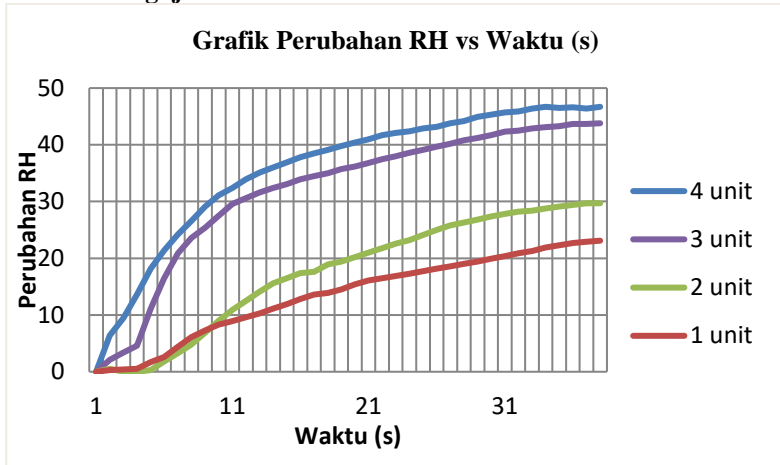
Duty Cycle PWM (%)	Kecepatan Angin (m/s)
0	0
10	2,74
20	4,27
30	4,53
40	5,03
50	5,23
60	5,49
70	6,13
80	6,5
90	6,9
100	7,17



Gambar 4.7 Grafik pengujian kecepatan kipas dengan *duty cycle* PWM

Pada hasil pengujian ditemukan bahwa semakin besar nilai *duty cycle*, maka akan semakin besar nilai kecepatan udara yang dihasilkan oleh kipas.

4.3.2 Pengujian Karakteristik Ultrasonic Humidifier



Gambar 4.8 Grafik pengujian tingkat aktivitas *ultrasonic humidifier*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari tingkat aktivitas penggunaan *ultrasonic humidifier*. Pengujian dilakukan pada sebuah kotak tertutup dengan waktu sekitar 40 detik dengan nilai perubahan RH akan dicatat dan disampel setiap detik dan nilai RH awal ditetapkan sebesar 50 % untuk masing-masing tingkat aktivitas penggunaan *ultrasonic humidifier*. Pada hasil pengujian ditemukan bahwa semakin banyak unit *ultrasonic humidifier* digunakan, maka akan semakin cepat dan besar perubahan nilai RH.

4.4 Pengujian Sistem Pendingin Udara

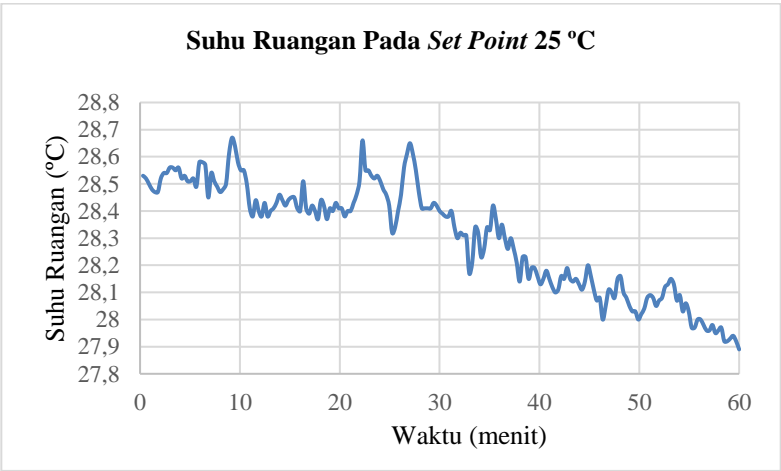
Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil unjuk kerja sistem pendingin udara dengan metode penguapan air. Pengujian dilakukan di dalam ruangan dengan luas 3,3 m x 3,6 m dan nilai suhu awal 28,5 °C nilai pembacaan suhu dan RH dicatat selama waktu 1 jam dengan nilai *set point* suhu ruangan bernilai 25, 26, 27, dan 28 °C.

Tabel 4.5. Tabel pengujian suhu ruangan kinerja sistem

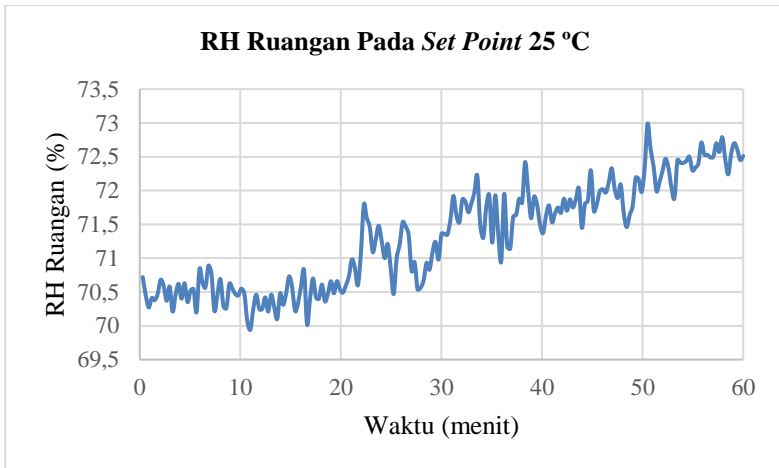
Set Point Suhu (°C)	Hasil Suhu (°C)	Error Suhu
25	27,89	-2,89
26	28,03	-2,03
27	27,98	-0,98
28	27,95	0,05

Tabel 4.6 Tabel pengujian RH ruangan kinerja sistem

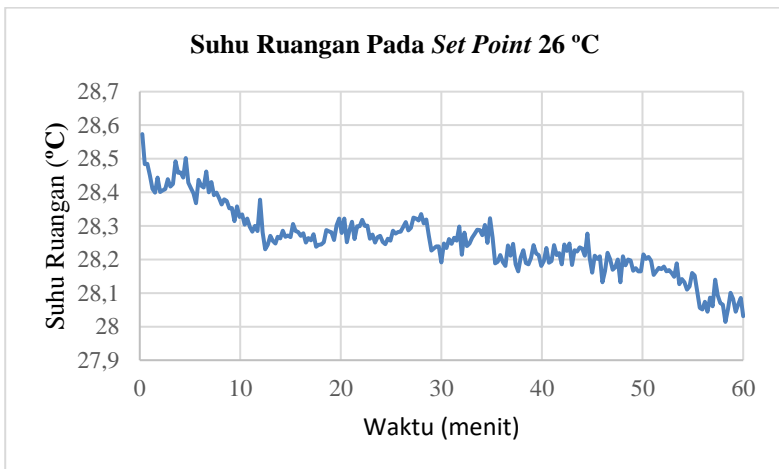
Set Point Suhu (°C)	Set Point RH (%)	Hasil RH (%)	Error RH
25	75	72,61	2,39
26	75	70,5	4,5
27	75	72,56	2,44
28	75	73,94	1,06



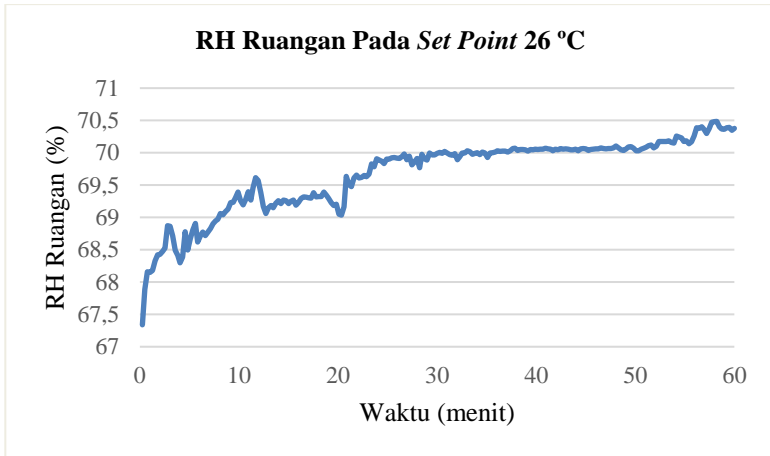
Gambar 4.9 Suhu Ruangan pada *set point* 25 °C



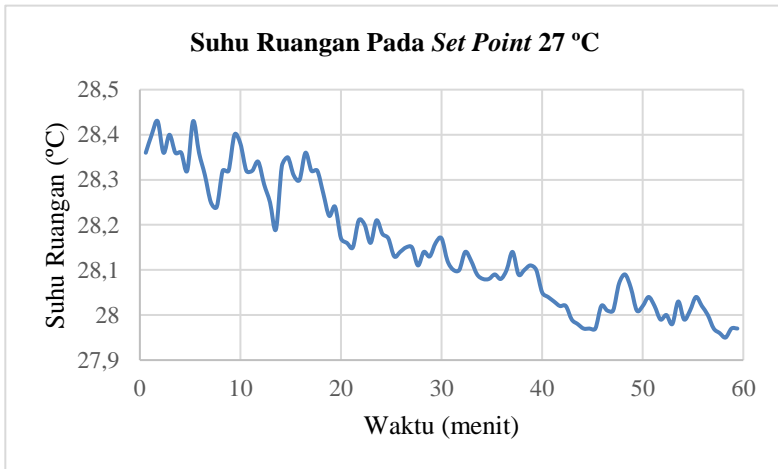
Gambar 4.10 Suhu Ruangan pada *set point* 25 °C



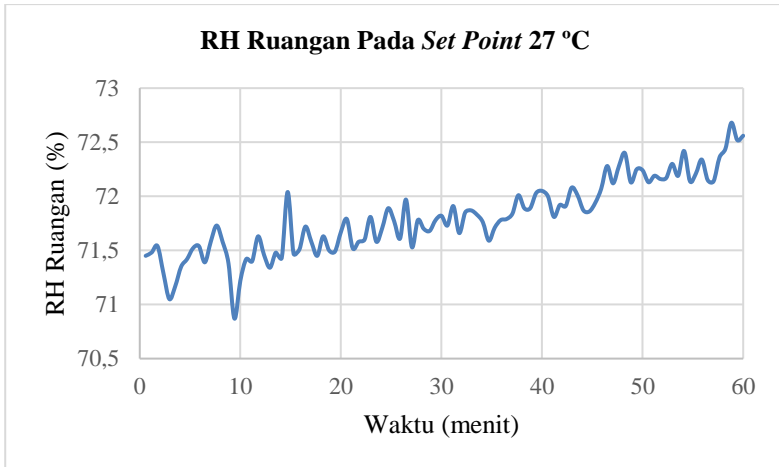
Gambar 4.11 Suhu ruangan pada *set point* 26 °C



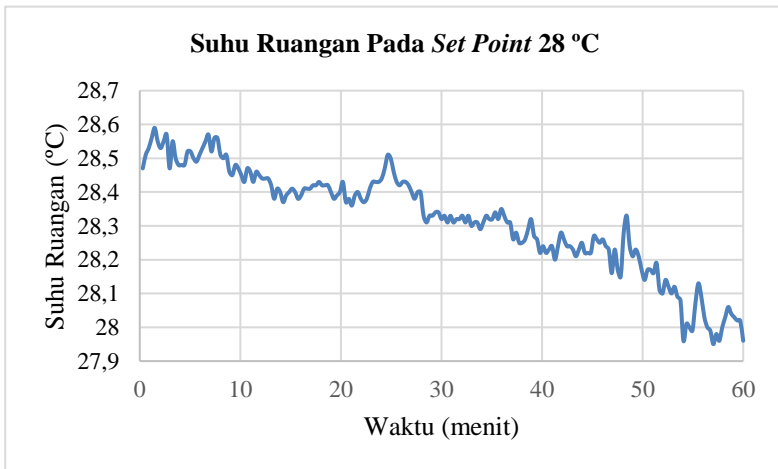
Gambar 4.12 RH ruangan pada *set point* 26 °C



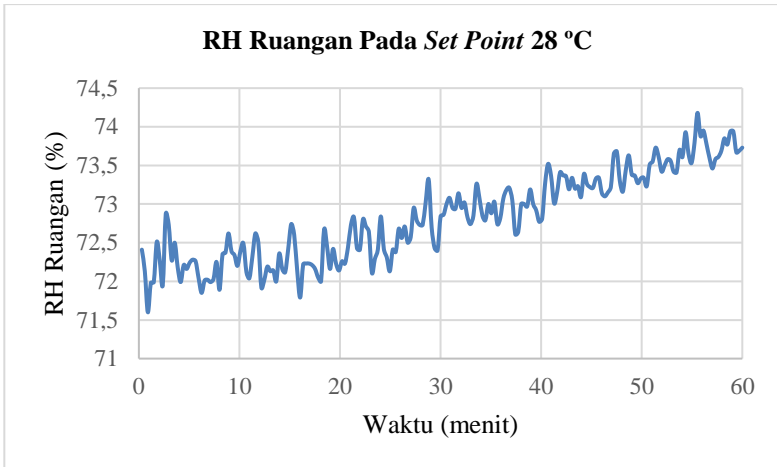
Gambar 4.13 Suhu ruangan pada *set point* 27 °C



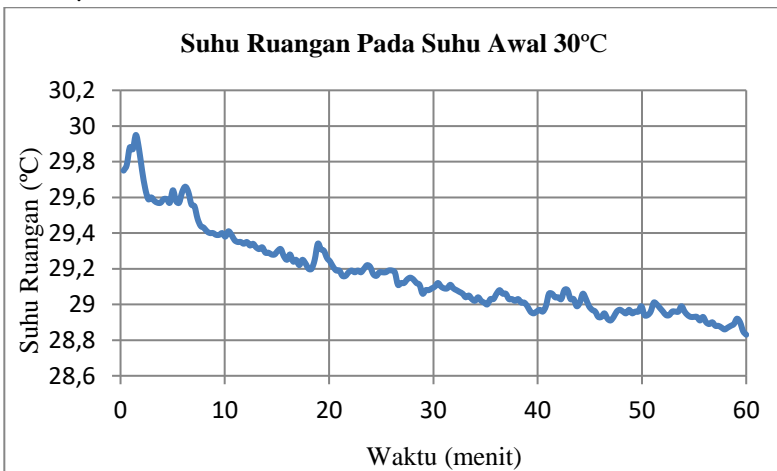
Gambar 4.14 RH ruangan pada *set point* 27 °C



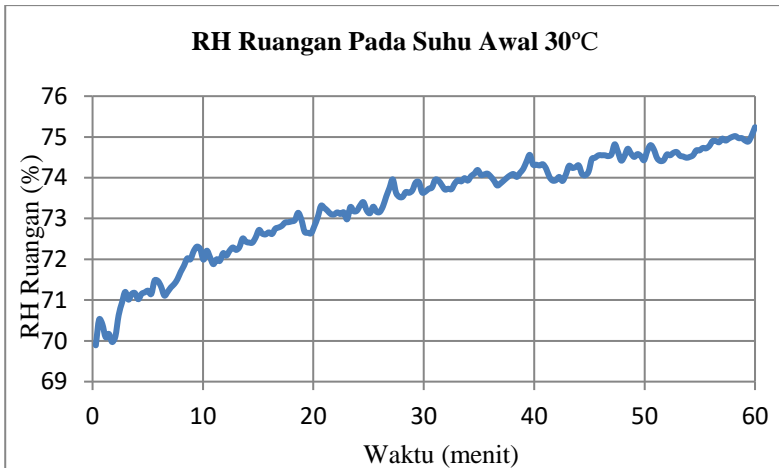
Gambar 4.15 Suhu ruangan pada *set point* 28 °C



Gambar 4.16 RH ruangan pada *set point* 28 °C



Gambar 4.17 Suhu ruangan pada suhu awal 30 °C



Gambar 4.18 RH ruangan pada suhu awal 30 °C

Hasil pengujian yang diperoleh dari pengujian menunjukkan bahwa dengan naiknya nilai RH ruangan akan menurunkan nilai suhu ruangan. Hasil pengujian membuktikan teori tentang transformasi *sensible heat* menjadi kalor laten dengan merubah energi panas yang terdapat pada udara melalui proses adiabatik untuk perubahan fase air dari fase cairan menjadi uap air.

Hasil pengujian pada *set point* 25, 26, dan 27 °C menunjukkan bahwa suhu ruangan belum sampai pada *set point* selama waktu pengujian. Namun, pada hasil pengujian pada *set point* 28 °C menunjukkan bahwa suhu ruangan telah mencapai nilai *set point* dengan waktu 54 menit dengan masing-masing kesalahan rata-rata total sebesar 1.46 °C dan 2.6 % untuk suhu dan RH ruangan. Nilai suhu ruangan rata-rata dapat diturunkan sebesar 0,4 – 0,6 °C pada suhu awal 28,5 °C. Pengujian dengan menggunakan suhu awal 30 °C menunjukkan bahwa suhu dapat diturunkan hingga 1,2 °C, maka dapat disimpulkan bahwa potensi pendinginan pendingin udara penguapan air meningkat pada suhu udara awal yang tinggi.

Pada semua pengujian nilai RH ruangan belum mencapai nilai *set point* pada waktu pengujian, hal ini menjadi faktor utama pada saat nilai *set point* suhu ruangan gagal dicapai karena kurangnya uap air yang dihasilkan oleh USB *ultrasonic humidifier* untuk menyerap energi

panas yang terdapat pada udara. Faktor lain yang memengaruhi kinerja sistem adalah ruangan yang tidak tertutup secara ideal menyebabkan terdapat uap air yang lolos dari ruangan uji coba, sehingga mengurangi jumlah uap air yang dapat digunakan untuk proses pendinginan suhu udara ruangan

BAB 5

PENUTUP

Dari penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, didapatkan kesimpulan berdasarkan analisa data sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

Telah dirancang sistem pendingin udara dengan metode penguapan air dan kontrol logika fuzzy. Berdasarkan pengujian sensor dapat disimpulkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki kesalahan rata-rata 1,54 % pada jarak 2 - 10 cm untuk pengukuran tingkat ketinggian air pada tangki dan sensor kelembaban dan suhu Texas Instrument HDC1080 masing-masing memiliki kesalahan rata-rata 10,9 % dan 1,4 % untuk pengukuran nilai kelembaban relatif dan suhu ruangan. Pengujian karakteristik aktuator memberikan kesimpulan bahwa semakin banyak unit ultrasonic humidifier digunakan, maka akan semakin cepat dan besar perubahan nilai RH dan semakin besar nilai *duty cycle*, maka akan semakin besar nilai kecepatan udara yang dihasilkan oleh kipas. Pengujian sistem keseluruhan dapat disimpulkan bahwa sistem pendingin udara metode penguapan air dengan menggunakan USB *ultrasonic humidifier* dan kontrol logika fuzzy mempunyai potensi pada kondisi ruangan yang bersuhu tinggi dan mampu mendinginkan ruangan dengan masing-masing nilai kesalahan suhu dan RH ruangan rata-rata sebesar 1.46 °C dan 2.6 % pada kondisi awal 28,5 °C.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, dapat disarankan untuk penggunaan unit *humidifier* yang mempunyai kapasitas kerja yang lebih besar, karena ditengarai menjadi kendala yang mengakibatkan nilai *set point* RH tidak tercapai dan penggunaan sistem pendingin udara mode IEC atau gabungan untuk meningkatkan kinerja pendingin udara metode penguapan air.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Amer, O., Boukhanouf, R. dan Ibrahim, H., “*A Review of Evaporative Cooling Technologies*”, International Journal of Environmental Science and Development, vol. 6(2), pp.111-117. 2015
- 2 Xuan, Y. M., Xiao, F., Niu, X. F., Huang, X., and Wang, S. W., “*Research and Application of Evaporative Cooling in China : A Review (1) – Research*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, pp 3535-3546, 2012
- 3 Jian, Z., “*Research on the Direct Evaporative Cooling Air Conditioner*”. Applied Mechanics and Materials, vol. 389, pp.1085-1088, 2013
- 4 Gomez, E. Velasco., Martinez, F. C. Rey. and Gonzales, A. T., “*The Phenomenon of Evaporative Cooling From A Humid Surface As an Alternative Method for Air Cooling*”, International Journal of Energy and Environment, vol. 1(1), pp 69-96, 2010
- 5 Dewi, M. P. “Pengaturan Laju Kavitasi Ultrasonik Untuk Mengatur Kelembaban Ruangan Berbasis PID”, <URL: <http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100012046641/19285>>, 2012
- 6 Leong, T., Ashokkumar, M., and Kentish, S., “*The Fundamental of Power Ultrasound – A Review*”. Acoustics Australia, 39(2), pp 54-63, 2011
- 7 Princeton University. “*Fuzzy Inference System*”, <URL: <http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall07/cos436/HIHD/D/Knapp/fuzzy004.htm>>, Oktober, 2007
- 8 Macao Museum of Communication, “*How an N-Channel MOSFET Works*”, <URL: http://macao.communications.museum/eng/exhibition/seconsecond/MoreInfo/2_10_4_HowFETWorks.htm>, Januari, 2017
- 9 Electronic Tutorials, “*The MOSFET*”, <URL: <http://www.electronics-tutorials.ws>>, April, 2015
- 10 Atmel, “*ATmega328/P Datasheet Complete*”, <URL: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf>, November, 2016

- 11 Shirriff, K., Badger, P., “*Secrets of Arduino PWM*”, <URL: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SecretsOfArduinoPWM>>, 2010
- 12 Agarwal, T., “*Overview on Electronics Communication Protocols*”, <URL: <https://www.elprocus.com/communication-protocols/>>, 2012
- 13 I2C BUS, “*I2C Bus Specification*”, <URL: <http://i2c.info/i2c-bus-specification>>, 2010
- 14 Emil’s Project, “*Making a Better HC-SR04 Echo Locator*”, <URL: http://uglyduck.ath.cx/ep/archive/2014/01/Making_a_better_HC_SR04_Echo_Locator.html>, Januari, 2014
- 15 Nasrullah. Rahim, R., Baharuddin. Mulyadi, R., Jamala, N., and Kusno, A., “*Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor*”. Temu Ilmiah IPLBI. pp 45-50, 2015
- 16 Nova Electronica, “*Circuit Ultrasonic Air Humidifier Domesticated*”, <URL: <http://blog.novaeletronica.com.br/en/circuito-umidificador-de-ar-ultrasonico-caseiro/>>, September, 2014
- 17 Nidec, “*What Are Motors? 1-3-2 Brushless DC Motor*”, <URL: <http://www.nidec.com/en-EU/technology/motor/basic/00005/>>, 2012
- 18 Adroja, N., “*What Is The Difference Between Solenoid Valve and Relay*”, <URL: <https://www.quora.com/What's-the-difference-between-solenoid-valve-and-relay>>, Juli, 2016

LAMPIRAN

Lampiran program :

```
#include <Wire.h>
#include <NewPing.h>
#include "ClosedCube_HDC1080.h"
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzySet.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>

#define TRIGGER_PIN 2
#define ECHO_PIN 3
#define MAX_DISTANCE 10

NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);

Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();

//Temp
FuzzySet* NeT = new FuzzySet(-20, -20, -2, -1);
FuzzySet* NeuT = new FuzzySet(-2, -1, 1, 2);
FuzzySet* PoT = new FuzzySet(1, 2, 20, 20);
//Humidity
FuzzySet* NeHiH = new FuzzySet(-70, -70, -25, -20);
FuzzySet* NeLoH = new FuzzySet(-25, -20, -5, -2.5);
FuzzySet* NeuH = new FuzzySet(-5, -2.5, 2.5, 5);
FuzzySet* PoH = new FuzzySet(2.5, 5, 25, 25);
ClosedCube_HDC1080 hdc1080;

float suhuU, humU, suhuD, humD, setSuhu = 25, setRH=75, suhuB,
humB;
```

```
int FanPWM, DiPin, ValvePin = 11, HumA = 6, HumB = 7, HumC = 8,
HumD = 9, humArray[4], flag, tmstep, HumS, buffOut, logstep=1, us,
dir=1;
```

```
void humRandom(){
    humArray[0] = random(6,10);
    humArray[1] = random(6,10);
    while(humArray[0] == humArray[1]){
        humArray[1] = random(6,10);
    }
    humArray[2] = random(6,10);
    while(humArray[2] == humArray[0] || humArray[2] == humArray[1]){
        humArray[2] = random(6,10);
    }
    humArray[3] = random(6,10);
    while(humArray[3] == humArray[0] || humArray[3] == humArray[1] ||
humArray[3] == humArray[2]){
        humArray[3] = random(6,10);
    }
}
```

```
void setup()
{ pinMode(HumA, OUTPUT);
  pinMode(HumB, OUTPUT);
  pinMode(HumC, OUTPUT);
  pinMode(HumD, OUTPUT);
  pinMode(ValvePin, OUTPUT);
  randomSeed(analogRead(1));
  humRandom();
```

```
Serial.begin(9600);
hdc1080.begin(0x40);
```

```
// FuzzyInput
FuzzyInput* temp = new FuzzyInput(1);
temp->addFuzzySet(NeT);
temp->addFuzzySet(NeuT);
```



```

temp->addFuzzySet(PoT);

fuzzy->addFuzzyInput(temp);

// FuzzyInput
FuzzyInput* hum = new FuzzyInput(2);
hum->addFuzzySet(NeHiH);
hum->addFuzzySet(NeLoH);
hum->addFuzzySet(NeuH);
hum->addFuzzySet(PoH);

fuzzy->addFuzzyInput(hum);

// FuzzyInput
//FuzzyInput* temperature = new FuzzyInput(3);
//temperature->addFuzzySet(cold);
//temperature->addFuzzySet(good);
//temperature->addFuzzySet(hot);

//fuzzy->addFuzzyInput(temperature);

// FuzzyOutput
FuzzyOutput* fan = new FuzzyOutput(1);

FuzzySet* slowF = new FuzzySet(0, 0, 30, 50);
fan->addFuzzySet(slowF);
FuzzySet* medF = new FuzzySet(30, 50, 50, 70);
fan->addFuzzySet(medF);
FuzzySet* highF = new FuzzySet(50, 70, 70, 100);
fan->addFuzzySet(highF);

fuzzy->addFuzzyOutput(fan);

// FuzzyOutput
// adding speed as output too
FuzzyOutput* uh = new FuzzyOutput(2);

FuzzySet* lowUH = new FuzzySet(0, 0, 1.25, 2.5 );
uh->addFuzzySet(lowUH);
FuzzySet* medUH = new FuzzySet(1.25, 2.5, 2.5, 3.75);

```

```

uh->addFuzzySet(medUH);
FuzzySet* highUH = new FuzzySet(2.5, 3.75, 5, 5);
uh->addFuzzySet(highUH);

fuzzy->addFuzzyOutput(uh);

// Input
FuzzyRuleAntecedent* TempNegAndHumNeHi = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNegAndHumNeHi->joinWithAND(NeT, NeHiH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNeuAndHumNeHi = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNeuAndHumNeHi->joinWithAND(NeuT, NeHiH);
FuzzyRuleAntecedent* TempPoAndHumNeHi = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempPoAndHumNeHi->joinWithAND(PoT, NeHiH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNegAndHumNeLo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNegAndHumNeLo->joinWithAND(NeT, NeLoH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNeuAndHumNeLo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNeuAndHumNeLo->joinWithAND(NeuT, NeLoH);
FuzzyRuleAntecedent* TempPoAndHumNeLo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempPoAndHumNeLo->joinWithAND(PoT, NeLoH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNegAndHumNeu = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNegAndHumNeu->joinWithAND(NeT, NeuH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNeuAndHumNeu = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNeuAndHumNeu->joinWithAND(NeuT, NeuH);
FuzzyRuleAntecedent* TempPoAndHumNeu = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempPoAndHumNeu->joinWithAND(PoT, NeuH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNegAndHumPo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNegAndHumPo->joinWithAND(NeT, PoH);
FuzzyRuleAntecedent* TempNeuAndHumPo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempNeuAndHumPo->joinWithAND(NeuT, PoH);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* TempPoAndHumPo = new
FuzzyRuleAntecedent();
TempPoAndHumPo->joinWithAND(PoT, PoH);

//Output
FuzzyRuleConsequent* FanLow = new FuzzyRuleConsequent();
FanLow->addOutput(slowF);
FuzzyRuleConsequent* FanMed = new FuzzyRuleConsequent();
FanMed->addOutput(medF);
FuzzyRuleConsequent* FanHigh = new FuzzyRuleConsequent();
FanHigh->addOutput(highF);
FuzzyRuleConsequent* UHLow = new FuzzyRuleConsequent();
UHLow->addOutput(lowUH);
FuzzyRuleConsequent* UHMed = new FuzzyRuleConsequent();
UHMed->addOutput(medUH);
FuzzyRuleConsequent* UHHigh = new FuzzyRuleConsequent();
UHHigh->addOutput(highUH);

//Rule Set
FuzzyRule* fuzzyRule1 = new FuzzyRule(1, TempNegAndHumNeHi,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule1);
FuzzyRule* fuzzyRule2 = new FuzzyRule(2, TempNeuAndHumNeHi,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule2);
FuzzyRule* fuzzyRule3 = new FuzzyRule(3, TempPoAndHumNeHi,
FanHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule3);
FuzzyRule* fuzzyRule4 = new FuzzyRule(4, TempNegAndHumNeLo,
FanLow);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule4);
FuzzyRule* fuzzyRule5 = new FuzzyRule(5, TempNeuAndHumNeLo,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule5);
FuzzyRule* fuzzyRule6 = new FuzzyRule(6, TempPoAndHumNeLo,
FanHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule6);
FuzzyRule* fuzzyRule7 = new FuzzyRule(7, TempNegAndHumNeu,
FanLow);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule7);

```

```

FuzzyRule* fuzzyRule8 = new FuzzyRule(8, TempNeuAndHumNeu,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule8);
FuzzyRule* fuzzyRule9 = new FuzzyRule(9, TempPoAndHumNeu,
FanHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule9);
FuzzyRule* fuzzyRule10 = new FuzzyRule(10, TempNegAndHumPo,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule10);
FuzzyRule* fuzzyRule11 = new FuzzyRule(11, TempNeuAndHumPo,
FanMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule11);
FuzzyRule* fuzzyRule12 = new FuzzyRule(12, TempPoAndHumPo,
FanHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule12);

FuzzyRule* fuzzyRule13 = new FuzzyRule(13,
TempNegAndHumNeHi, UHHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule13);
FuzzyRule* fuzzyRule14 = new FuzzyRule(14,
TempNeuAndHumNeHi, UHHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule14);
FuzzyRule* fuzzyRule15 = new FuzzyRule(15,
TempPoAndHumNeHi, UHHigh);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule15);
FuzzyRule* fuzzyRule16 = new FuzzyRule(16,
TempNegAndHumNeLo, UHMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule16);
FuzzyRule* fuzzyRule17 = new FuzzyRule(17,
TempNeuAndHumNeLo, UHMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule17);
FuzzyRule* fuzzyRule18 = new FuzzyRule(18,
TempPoAndHumNeLo, UHMed);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule18);
FuzzyRule* fuzzyRule19 = new FuzzyRule(19,
TempNegAndHumNeu, UHLow);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule19);
FuzzyRule* fuzzyRule20 = new FuzzyRule(20,
TempNeuAndHumNeu, UHLow);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule20);

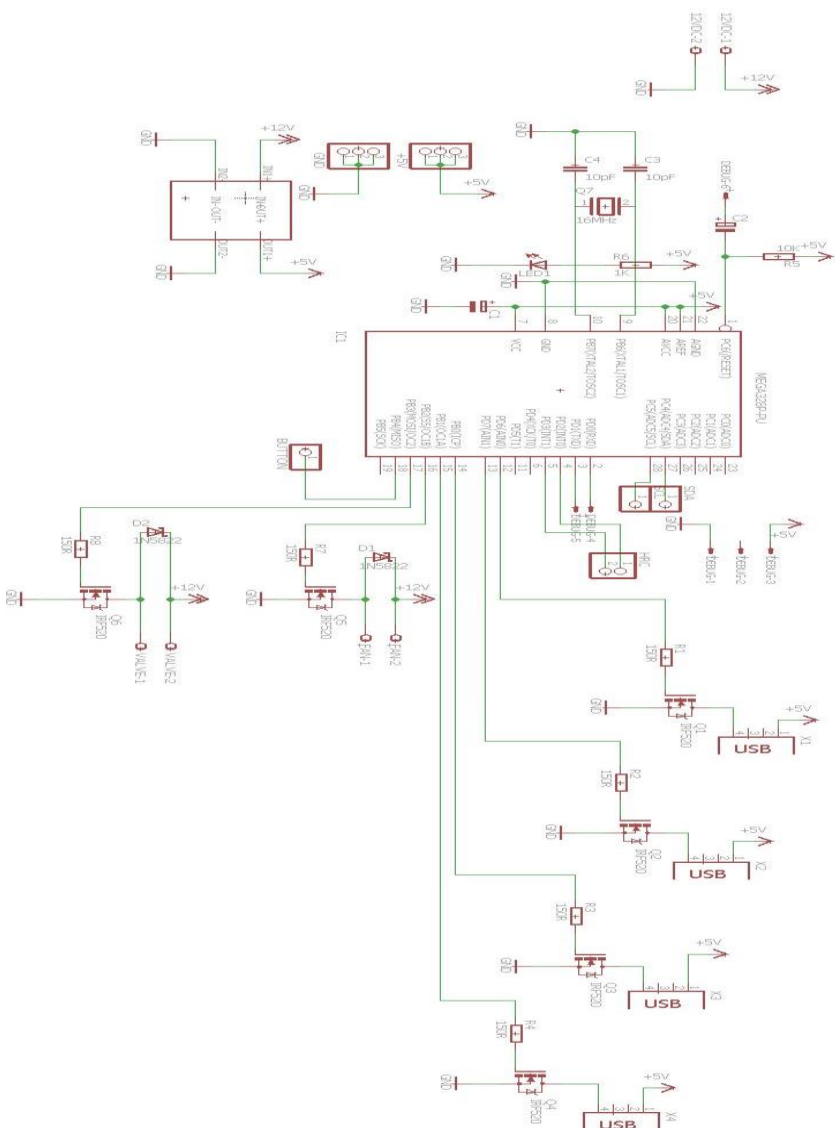
```

```

    FuzzyRule* fuzzyRule21 = new FuzzyRule(21, TempPoAndHumNeu,
UHMed);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule21);
    FuzzyRule* fuzzyRule22 = new FuzzyRule(22, TempNegAndHumPo,
UHLow);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule22);
    FuzzyRule* fuzzyRule23 = new FuzzyRule(23, TempNeuAndHumPo,
UHLow);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule23);
    FuzzyRule* fuzzyRule24 = new FuzzyRule(24, TempPoAndHumPo,
UHLow);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule24);
}

```

Skematik sistem



BIOGRAFI PENULIS



Mohammad Mirza Ferizki lahir di kota Surabaya pada tanggal 31 Oktober 1994. Penulis mengenyam pendidikan di SD Muhammadiyah 4 Surabaya, lalu meneruskan pendidikan di SMPN 6 Surabaya dan SMAN 1 Surabaya sebelum memutuskan untuk menempuh pendidikan tinggi pada jurusan Teknik Elektro bidang Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Kegemaran penulis akan teknologi dan elektronik menjadi pacuan untuk menuntut ilmu pada bidang kegemaran penulis. Selama aktif menuntut

ilmu di ITS, penulis juga aktif menjadi asisten di laboratorium Elektronika Dasar B202 yang mengembangkan minat dan pengetahuan lebih lanjut pada bidang elektronika.

email: mirza.ferizki@live.com

[Halaman ini sengaja dikosongkan]